

1. INTRODUCCIÓN AL CONCEPTO DE BIOINDICADOR.

La adecuación de principios de uso generalizado al lenguaje científico necesita de matizaciones que denoten la significación de los términos empleados y la doten de la sistematización propia de este lenguaje. Este es el caso del concepto de bioindicador.

Iserentant y De Sloover (1976) se refieren a este término como:

"La proposición primera de la ecología, según la cual el ser vivo, organismo o comunidad, es un reflejo fiel del medio en el que crece y se desarrolla. La observación de un ser vivo puede de esta forma ser un indicador de la calidad o de las características del medio".

El hombre ha alterado la composición de la atmósfera, principalmente desde los dos últimos siglos, al verter en ella todo tipo de compuestos:

{SO_x, y NO_x, etileno, derivados clorados y fluorados, metales pesados, contaminantes fotoquímicos, hidrocarburos, CO, CO₂ ,..., etc.},

y un largo etcétera, procedentes de la combustión de carbones y de los derivados del petróleo, de la fabricación de aluminio, de los fosfatos y de otras muchas fuentes. Cada agente polucionante actúa sobre los seres vivos y los ecosistemas de una manera característica, produciendo una respuesta diferenciada para cada especie o comunidad y que está en función, a su vez, de la combinación, concentración y duración de los contaminantes.

Los líquenes, y en particular algunas especies, están mundialmente reconocidos como los organismos más sensibles frente a los efectos nocivos de la contaminación atmosférica.

Según el Dictionary of the fungi (Ainsworth & Bisby, 1971), un liquen es una asociación simbiótica autosuficiente de un hongo (micobionte) y un alga (fotobionte). Como no tienen raíces, hojas o flores, toman el agua y sus nutrientes fundamentalmente a partir de la atmósfera. Se encuentran en casi todas partes, tapizando las superficies de las rocas, la corteza de troncos y ramas, los claros del suelo, el vidrio, el cemento, las tejas, los monumentos,...etc. Prácticamente cubriendo el 8% de la superficie terrestre y se piensa que hay mundialmente unas 20.000 especies.

Los líquenes sólo dominan en aquellos ecosistemas extremos, es decir, en los desiertos cálidos y fríos, donde allí la competencia de las plantas superiores no es posible. Pero siempre aparecen como epífitos o bien sobre las cortezas, corticícolas, o bien sobre rocas, saxícolas, a condición de que haya una cierta iluminación. Todo ello es posible gracias a su característica naturaleza de simbiontes y a que dependen casi exclusivamente de la atmósfera o del agua que discurre por el sustrato. Su metabolismo y, por tanto, su crecimiento es muy lento. Hans Magnus Enzensberg¹ en su famosa poesía, los definió como: *"El más lento telegrama de la tierra"*. Posiblemente sea esta la frase que mejor sintetiza las características que les conceden sus óptimas bondades como bioindicadores de la contaminación, siendo sus principales razones para ello las siguientes:

R1 .-Tienen un talo perenne, que carece de cutícula, y por tanto su superficie esta constantemente abierta al paso de líquidos y gases durante toda su vida, que es larga.

R2 .-Existe una relación fisiológica íntima entre los talos y el ambiente y los líquenes, siendo nutricional y directamente independientes tanto del sustrato como de sus elementos.

R3 .-Son muy estenoicos, es decir, de requerimientos ecológicos mínimos y precisos, y muy sensibles a los

cambios que pueden producirse en el ambiente, ya que no disponen ni de aparato excretor ni de mecanismos de defensa tan importantes como el control de su contenido de agua (son poiquilohidros), por lo que son capaces de concentrar y acumular distintos compuestos (entre ellos también los contaminantes atmosféricos) en su talo a partir de soluciones muy diluidas, habiendo toda una gradación de especies que tienen requerimientos y sensibilidades diferentes.

El empleo bioindicadores para detectar la polución tiene una serie de ventajas tales como el bajo costo, los resultados rápidos y la posibilidad de proporcionar información acumulativa, integrada y discriminada gracias a su capacidad de respuesta frente a las alteraciones del medio, la cual nunca puede ser detectada a través de mediciones físico-químicas. Pero también reúne algunos inconvenientes, debido a la imposibilidad de obtener resultados cuantitativos reales a causa de la complejidad de los mecanismos de interrelación.

1.1.Efectos de la contaminación sobre líquenes.

Se pueden evidenciar en forma de reacciones fisiológicas directas y en forma de reacciones indirectas.

Las primeras, producidas por emisiones específicas de fuentes puntuales, que difícilmente se pueden evaluar, dado el gran número de variables ambientales que intervienen. Debido a ello, en la práctica lo que en realidad se mide son las respuestas indirectas (respuestas a la inmisión) que se manifiestan desde el punto de vista del observador de manera cualitativa siendo la presencia/ausencia de las especies líquénicas el criterio empleado principalmente para la evaluación cualitativa de la contaminación y la frecuencia de las mismas para la evaluación cuantitativa.

El SO₂ es el principal contaminante gaseoso afectando en mayor medida al normal funcionamiento de los talos líquénicos y es también el que se encuentra en mayor concentración y está más extendido. Cada año se vierten en la atmósfera unas 200 Tm como resultado de las actividades humanas, además de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, derivados fluorados o clorados, junto con partículas en suspensión, metales pesados y otros muchos compuestos.

Las respuestas de los líquenes frente al SO₂, como por ejemplo, para poder amortiguar los efectos negativos, una de las primeras reacciones de los talos es tratar de disminuir la asimilación de este gas, de manera que reducen la superficie de contacto con el agua de varias formas, o bien desarrollando soredios que no se humedecen tan fácilmente, o elaborando mayores concentraciones de sustancias hidrófobas, o encogiéndose el talo al volverse los lóbulos más estrechos y convexos, o bien tratando de reducir el efecto de los iones tóxicos gracias a la capacidad tampón del talo y del sustrato.

Pero la tolerancia depende de la resistencia del protoplasma de las células, de su momento metabólico, de la vitalidad, de la capacidad de inhibición de los efectos y de la madurez del talo, siendo mucho más sensibles los talos más jóvenes. Esta es una de las razones del descenso en diversidad y biomasa de líquenes en zonas contaminadas, simplemente no se pueden reproducir o los talos más jóvenes dejan de progresar.

1.2. Importancia de las condiciones ambientales.

Los efectos más importantes son los que afectan a la fotosíntesis y a la respiración, inhibiéndose la captación de CO₂, que altera la composición de las membranas celulares, perdiéndose iones potasio, pasando la clorofila (verde) a feofitina (parda) por pérdida de iones magnesio, comienzan las decoloraciones del talo y modificaciones vanas, posteriormente también se pierde la respiración y al final tanto el fotobionte como el hongo degeneran, se daña la estructura del talo y su capacidad de reproducción.

La actividad y profundidad de la acción dependen también de la persistencia, duración y concentración de los contaminantes, del régimen climático, del pH del sustrato y de otros factores. No es lo mismo la persistencia de niveles bajos durante mucho tiempo en ambientes húmedos, que un pico de alta concentración y corta

duración.

Si buscamos en las ciudades, será fácil encontrarlos en los monumentos hechos con roca calcárea o sobre el mortero de los muros, puesto que son capaces de neutralizar las deposiciones ácidas. Sin embargo, es más difícil que se instalen sobre rocas de naturaleza silíceas.

Los líquenes corticícolas son el material más adecuado para realizar una valoración de calidad del aire, ya que estos substratos no alteran, o lo hacen muy poco, la composición del agua que discurre por su superficie, que es la que toma el líquen.

2. MÉTODOS ESTIMATIVOS ECOLÓGICOS.

Los métodos de trabajo desarrollados al utilizar los líquenes como bioindicadores de contaminación tienden a relacionar la presencia o ausencia de especies, su número, frecuencia de aparición, cobertura y los síntomas de daños externos o internos con el grado de pureza atmosférica.

Se han desarrollado una gran magnitud de técnicas y métodos destinados a realizar mapas o delimitar áreas isopolutas utilizando líquenes epífitos, pudiéndose reducir a dos las tendencias de profundización en esta aproximación:

T1 .– Análisis cualitativos (presencia/ausencia de especies).

T2 .– Cuantitativos (fitosociológicos).

2.1. Análisis cualitativos (presencia/ausencia de especies).

Algunos se basan que la distribución individual de las especies está correlacionada con la concentraciones de SO₂, indicando arduamente la resistencia ofrecida a las condiciones ambientales adversas, aunque necesita mayor precisión en aspectos como la vitalidad o la cobertura de los talos.

Mucho más interesantes son aquellos que estudian las asociaciones de líquenes, pues es así como se desarrollan normalmente en la naturaleza. Hawksworth y Rose (1970), gracias a las instalaciones de redes de estaciones de medida de SO₂ en los núcleos británicos urbanos e industriales, lograron realizar en 1970 una gradación de sensibilidad líquénica corticícola con dichas concentraciones promediadas invernales, bifurcándose posteriormente en función del tipo de forófito arbóreo.

Esta escala ha sido adaptada para Francia y N.O. de España, y otras escalas similares y posteriores han sido construidas, para Dinamarca, Suecia, Holanda, Alemania, Irlanda, Francia, Portugal, España, EE.UU y Canadá.

2.2. Análisis cuantitativos: Índice de Pureza Atmosférica.

Con objeto de obtener mejores aproximaciones en la delimitación de áreas isocontaminadas se han desarrollado métodos tendentes a cuantificar la aparición de taxones líquénicos, valorando no sólo su presencia en el territorio, sino también su abundancia y, en la medida de lo posible, su grado de fertilidad y desarrollo.

De Sloover y Lobanc (1968) diseñan el método del Índice de Pureza Atmosférica (IPA), que ha sido seguido por la mayoría de los investigadores que han abordado el tema desde una óptica ecológica. El IPA considera las comunidades de líquenes, la presencia y distribución de las mismas en un área con zonas precisas de contaminación y cuantifica los datos.

Para realizarlo hay que tomar numerosos inventarios fitosociológicos, en condiciones ecológicas homogéneas, y tiene en cuenta la cobertura, la abundancia y la frecuencia de las especies en cada comunidad y en unos cuantos árboles (forófitos) de un territorio determinado.

Este índice refleja la riqueza o escasez de la vegetación epífita de una determinada zona y es válido únicamente, a nivel comparativo, entre territorios o regiones que presenten aproximadamente la misma climatología y ecología.

Con objeto de introducir datos indicativos del estado de desarrollo, vitalidad, biomasa, grado de cobertura, etc., se han ideado métodos de medida centrados en el diámetro del talo, producción de apotecios, porcentajes de cobertura, utilizando en ocasiones técnicas fotográficas.

2.2.1. Orígenes metodológicos.

Dependientes de una serie de factores ambientales, entre aquellos que pueden determinar de una forma importante la distribución de los líquenes podemos citar:

F1 .– Forófito .Es esencial evaluar cada estación de muestreo en base a la especie del árbol considerado como forófito. Suelen existir diferencias en la diversidad de la flora líquénica dependiendo de la especie arbórea.

F2.–Microclima. Es extremadamente importante para los líquenes epífitos. Para que se puedan comparar las estaciones de muestreo, deben ser lo más similares posible en cuanto a Microclima se refiere.

Es necesario restringir el muestreo a árboles verticales dado que la pendiente de un tronco puede tener una fuerte influencia sobre el microclima, así como los que se encuentran en zonas poco iluminadas.

Se deben excluir los árboles demasiado delgados y jóvenes puesto que, la vegetación líquénica se halla generalmente en un estado de desarrollo no muy avanzado.

F3.– Clima. Las diferencias climáticas que puedan existir en una zona no se pueden excluir de la elección del método de muestreo y deben ser tenidas en cuenta en la interpretación de los resultados.

El clima más seco de las ciudades es especialmente importante, si bien la sequía no es el único factor que pueda afectar a la vegetación líquénica ya que los desiertos líquénicos también pueden hallarse en áreas no urbanas.

F4.–Eutrofización. La Eutrofización del forófito mediante el empleo de fertilizantes ocurre en las cercanías a pastos, jardines, etc. Este factor tiene un efecto distinto sobre la vegetación epífita y su presencia es muy difícil de determinar, aunque generalmente es detectado a partir de los epífitos. Habría que intentar excluir los árboles eutrofizados.

Existen muchos otros factores con una influencia directa o indirecta sobre los epífitos pero en muchos casos no se conoce muy bien esta influencia, como, por ejemplo, heridas en la corteza, acumulación de polvo, estructura de la corteza (lisa o rugosa) y pH.

2.2.2. El método de trabajo inventarial.

Las condiciones de absoluta homogeneidad no se dan en la naturaleza, dada la complejidad de factores ambientales que entran en juego, por tanto, se deben tener en cuenta las siguientes condiciones en la selección de localidades y toma de datos:

C1 .– La unidad de muestreo para el estudio de la flora líquénica es la estación de muestreo, formada por un

grupo de cinco árboles de la misma especie lo más cercanos posible unos de otros.

C2 .– En cada estación se deben realizar un máximo de cinco inventarios, cada uno de ellos en un forófito diferente

C3.– Se muestrean adultos sanos aproximadamente con el mismo diámetro de tronco principal. excluyendo árboles inclinados y de corteza lisa.

C4 .– La altura del muestreo sobre cada tronco debe estar comprendida entre 35 y 160 cm, con el fin de evitar la influencia del suelo y de las ramas.

3. Ecuación del IPA.

Esta técnica relaciona los parámetros frecuencia y cobertura de los líquenes con un factor llamado Cortejo Medio específico o Factor de Resistencia.

El Índice Frecuencia–Cobertura, IFC , viene expresada en una escala de uno a cinco, según la proporción de superficie ocupada,s(%), con lo que depende de de ella, $IFC = IFC(s)$:

1, especie muy rara con bajo grado de cobertura, $s = 1-10\%$.

2, especie poco frecuente con grado de cobertura, $s = 10 - 25\%$.

3, especie con frecuencia moderada y grado medio de cobertura, $s = 25-50\%$.

4, especie frecuente con alto grado de cobertura, $s = 50-75\%$.

5, especie muy frecuente y muy abundante, $s = 75-100\%$.

El IPA viene dado por la fórmula:

$$IPA_j = 1/10 \sum_{i=1}^n (Q_i - f_i)$$

donde

IPA = Índice de pureza atmosférica de la estación j.

n = numero de especies presentes en la estación j.

Q_i = cortejo medio específico de la especie i.

f_i = frecuencia–cobertura de la especie i.

El cortejo medio específico definido como el número promedio de especies acompañantes de una especie determinada se deduce mediante el cociente :

$$Q_i = (1/ E_j) \sum_{j=1}^n (A_j - 1)$$

donde :

Q_i = cortejo medio específico de la especie i.

A_j = número de especies presentes en cada estación donde se encuentra la especie i .

E_j = número de estaciones donde se halla i .

j = número de estaciones en las que se encuentra la especie i .

Crespo et al. (1981) realizó una serie de modificaciones que hacen referencia a la frecuencia f .

$$f = (P_{ij} + A_{mij}) / 2$$

donde :

P_{ij} = presencia de la especie i analizada en la estación j .

A_{mij} = media de la frecuencia – cobertura de la especie i en la estación j .

La aplicación de este método exige que el único factor ecológico variable entre las distintas estaciones sea la contaminación atmosférica.

4. EL CLIMA: UN FACTOR IMPORTANTE.

Hemos de decir que si hay hechos que diferencian a la provincia de Cádiz del resto de las provincias andaluzas; e incluso españolas; los climatológicos priman sobremanera. A nivel general podemos destacar como singularidades más sobresalientes en la climatología gaditana las siguientes:

S 1 .– Extraordinaria importancia del viento durante todo el año pero sobre todo en verano del conocido viento de levante.

S 2 .– Gran abundancia de lluvias que sitúan algunos puntos de la provincia entre los de máxima pluviometría de España, (así en Grazalema llueve, a veces, el doble que en Galicia).

S 3 .– Tremenda importancia de la humedad relativa del aire que sufre grandes oscilaciones con los cambios de tiempo.

S 4 .– Enorme luminosidad, unas aguas claras y poco profundas y unas tierras blanquecinas (albarizas, arenas pliocenas...).

Vamos a profundizar ahora en el clima de la zona.

5. Los elementos del clima.

5.1. La Temperatura.

Este parámetro climatológico se caracteriza a nivel provincial por su regularidad y suavidad, constituyendo esta zona una de las más benignas climáticamente de la Península.

Distribución de las isotermas medias:

La evolución de las temperaturas en la provincia de Cádiz evidencia, en general, el efecto moderador que las masas de agua ejercen sobre este elemento del clima.

Si consideramos las temperaturas medias anuales y su localización espacial observamos que las mismas se

sitúan entre $16^{\circ} C$ y $20^{\circ} C$, para todo el conjunto provincial, siendo su distribución bastante homogénea y no existiendo, así, grandes diferencias intraprovinciales.

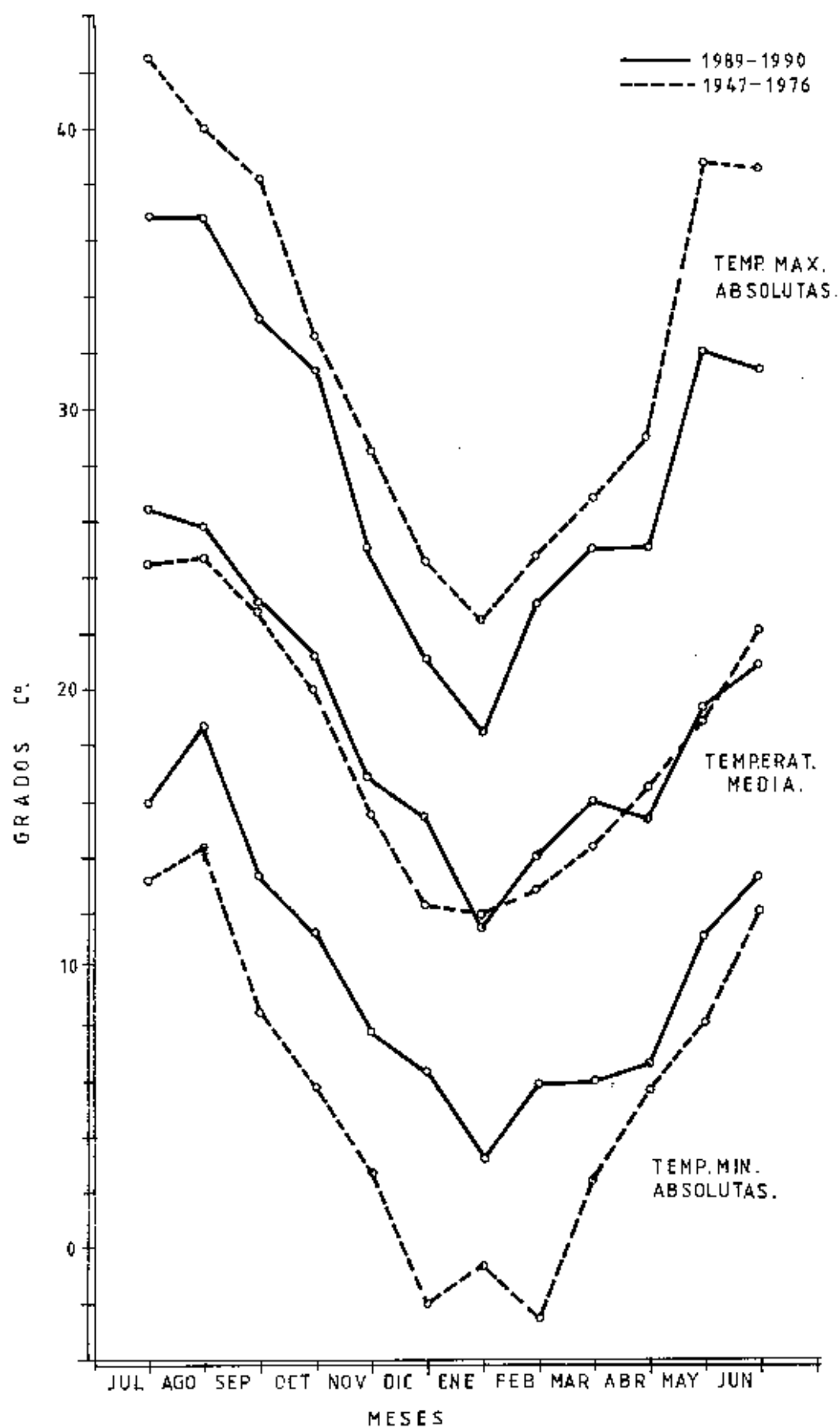
Si analizamos el comportamiento intraanual del fenómeno temperaturas observamos dos hechos que se repiten:

Las isotermas se presentan siempre paralelas a la costa.

Este paralelismo desaparece hacia el interior para convertirse, las isotermas, en líneas concéntricas que rodean los relieves del noreste.

En la campiña del centro provincial las medias son algo superiores a la franja costera en el litoral Atlántico.

Una clara muestra de la regularidad del fenómeno temperatura en esta provincia es el hecho de que la oscilación térmica intraanual no supera nunca los $17^{\circ} C$, ni siquiera en las zonas montañosas más interiores ($16^{\circ} C$ en Grazalema) y se reduce a unos $10^{\circ} C$ en toda la franja costera gaditana.



Temperaturas ambientales mensuales durante la época de los muestreos y en el período 1947-1976.

5.2. La precipitación.

Con relación a este parámetro climatológico, en la provincia de Cádiz llueve más que en el resto de Andalucía, llegándose a producir en algunos puntos precipitaciones que dan, muchos años, las máximas pluviométricas peninsulares.

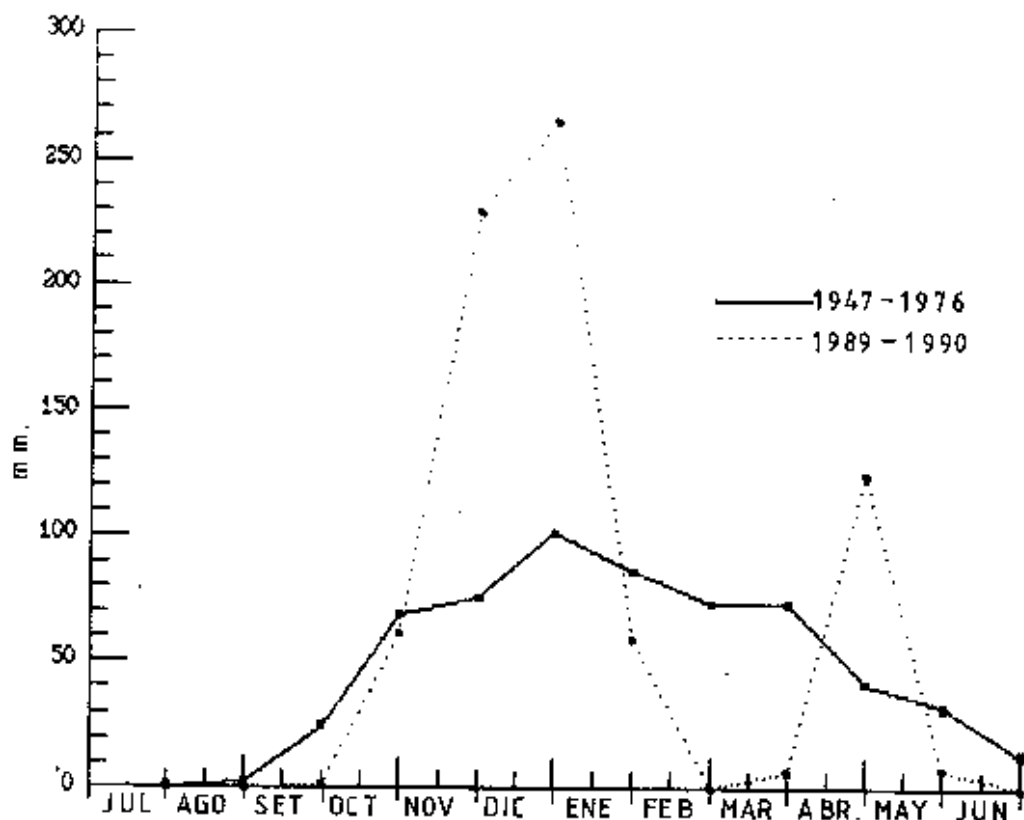
En la distribución de las lluvias juega un papel preponderante la altitud y el régimen de vientos, siendo, en general, vientos de poniente los que dan lugar a precipitaciones, frente a la sequedad que introduce el régimen de vientos de levante.

En líneas generales la pluviosidad aumenta de un modo manifiesto de oeste a este, siendo sus valores respectivamente: Trebujena, 505 mm/m² ; Grazalema, 2223 mm/m².

En la costa la precipitación asciende de norte a sur, siendo sus valores respectivamente: Chipiona, 500 mm/m² ; Tarifa, 795 mm/m².

Si analizamos la distribución anual de las precipitaciones, ésta se muestra bastante irregular, como ocurre en todo el sur de la Península Ibérica.

Existen dos periodos lluviosos cuyos máximos se alcanzan respectivamente en febrero – marzo y noviembre – diciembre. Podemos decir que las precipitaciones, aunque abundantes, están muy desigualmente repartidas a lo largo del año, marcándose claramente, como en el resto de Andalucía, la existencia de una estación húmeda y de otra seca. El balance hídrico se ve muy afectado, ya que la carencia de lluvias se produce en el periodo de mayor eficacia de las temperaturas.



Valores medios mensuales de precipitación (mm) para los dos períodos estudiados.

5.3. El viento.

Numerosos testimonios escritos quedan de la fama de la región en cuanto a la agitación del aire y este hecho viene reflejado en todas las instrucciones náuticas que desde el siglo XIX se facilitan a los marinos.

El viento se constituye con ello en elemento predominante dentro de la provincia, pero sobre todo en el sur y mitad occidental, donde soplan fuertemente durante todo el año.

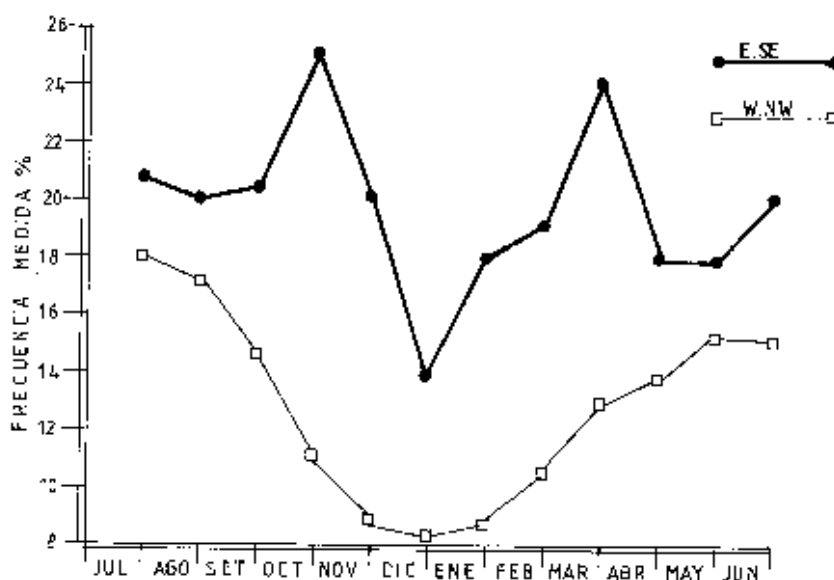
Como hechos peculiares con respecto a este elemento en dichas regiones habrá que destacar:

Con respecto a la velocidad media del viento podemos decir que ésta disminuye desde los sectores costeros hacia el interior y desde el sur hacia el norte. En Tarifa se llegan a registrar rachas habituales de 75- 120 km/h.

En cuanto a su naturaleza, hay que decir que los vientos Atlánticos del oeste y sudoeste, Ponientes, son vientos húmedos y frescos y a ellos se deben, principalmente, las precipitaciones que aumentan hacia el interior al ascender el aire obligado por el relieve, y condensar, al enfriarse, la humedad que porta el mar.

Por el contrario el Levante es un viento de procedencia africana¹ generado en el interior de dicho continente y que, por tanto, carece de la humedad propia del Poniente, invirtiéndose, con ello, en un viento seco y abrasador cuando sopla en verano.

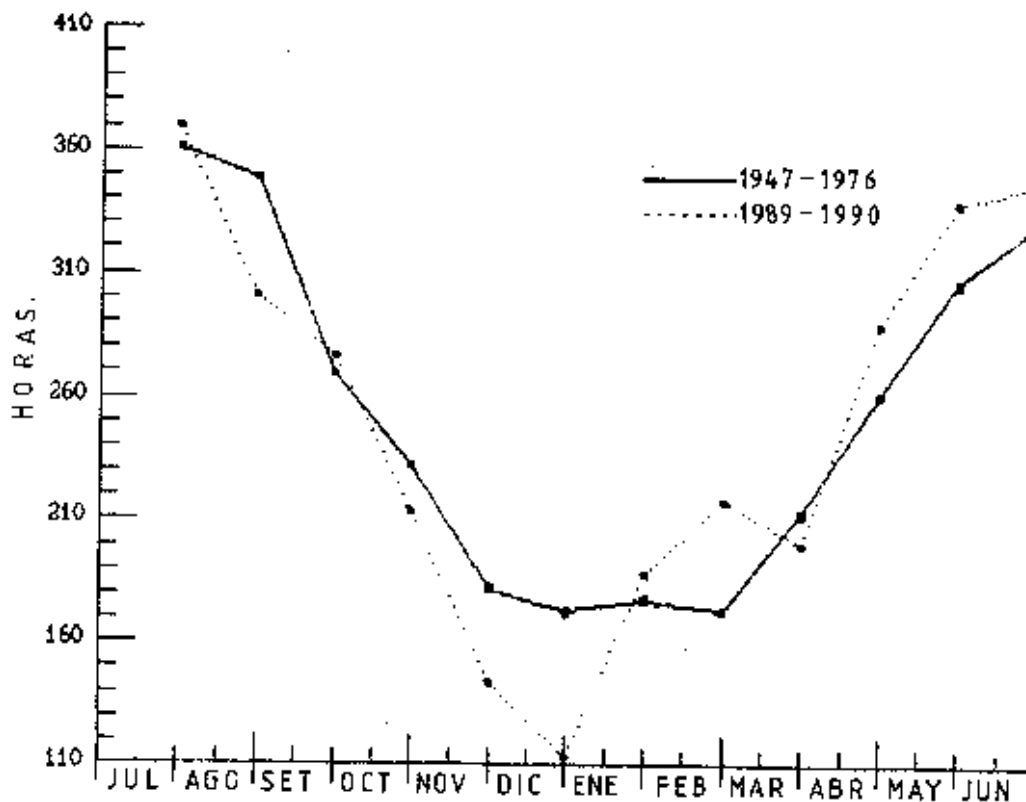
En Cádiz y San Fernando, más lejos del Estrecho, el levante se deja sentir también fuertemente, pero de modo bastante amortiguado en relación a Tarifa. Aquí serán los vientos del oeste los que primen.



Frecuencias medias mensuales de los vientos predominantes ESE y WNW, durante el período 1947-1976.

5.4. Insolación.

Resultante de la posición geográfica en latitud y de la nubosidad de la zona en Cádiz, este elemento es de primordial importancia. La insolación media resulta ser elevadísima como fruto de una situación latitudinal muy baja y de un número de días despejados muy abundante.



Valores de insolación (horas) para los dos períodos estudiados.

41

5.5. Humedad relativa del aire.

Este parámetro en estrecha vinculación con el viento es de extraordinaria importancia para la climatología gaditana. La razón se debe a que la oscilación de la humedad relativa en la provincia es enorme y a que los valores extremos se alcanzan por la influencia de los diversos vientos analizados, lo cual genera sensaciones de malestar físico y asuramiento de cosechas.

Naturalmente la humedad relativa "normal", depende, en gran medida de la cercanía o alejamiento del mar, de manera que la influencia del océano hace que se produzcan, en las zonas costeras, condensaciones de agua de gran intensidad al caer la tarde.

5.6. Nieve.

En Cádiz este elemento climatológico es prácticamente desconocido, si exceptuamos las serranías las del noreste, donde por su altura, 1600 m, se llegan a registrar frecuentemente fenómenos nivales.

5.7. Conclusiones.

Las conclusiones que podemos extraer de todos estos factores climáticos para la ciudad de Cádiz, ya que es aquí donde se centra nuestro estudio sobre la importancia de los líquenes como bioindicadores de la contaminación, puede resumirse de la siguiente manera.

Un factor que influye especialmente en la climatología de Cádiz es la topografía de la zona. Así, la horizontalidad del perfil no interfiere en el paso de las borrascas provenientes del Atlántico, por la que los

frentes nubosos, en general, transcurren sin obstáculos favoreciendo la escasez de precipitaciones.

Por otra parte, la existencia de macizos montañosos en la parte oriental de la provincia y en el Norte de Marruecos hacen que se de una canalización de los vientos en la zona del estrecho, lo que determina el predominio de los vientos de componente E y W.

Del diagrama Ombrotérmico de Walter-Lieth, elaborado con los valores medios mensuales de temperatura y precipitación correspondiente al periodo de 1947-76 se concluye que la zona de Cádiz se encuentra afectada a lo largo de un año por un periodo húmedo y otro seco. El periodo húmedo comprende los meses de octubre a abril; el periodo seco comprende los meses de marzo a septiembre.

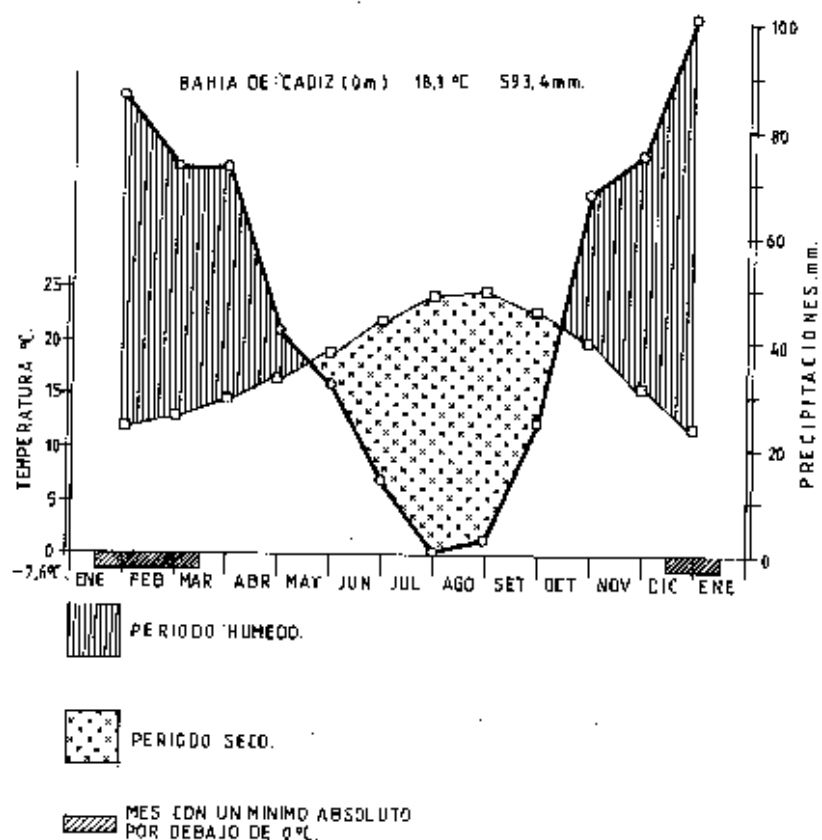


Diagrama Ombrotérmico de Walter-Lieth para la Bahía de Cádiz.

Las características del régimen de precipitaciones determinan que esta zona se enmarque dentro del tipo Mediterráneo húmedo.

Por otra parte, la ausencia de heladas, el hecho de que las temperaturas máximas absolutas raramente sobrepasen los 40° C, y la existencia de medias suaves, determinan que el régimen térmico a que se ve sometido Cádiz se considere encuadrado dentro del Tipo Subtropical Semicálido.

La irregularidad y escasez de precipitaciones, el predominio de viento de Levante que hace bajar la humedad relativa a valores inferiores a 30 %, las altos valores de evaporación, 1530 mm/m²; frente a los de precipitación, 593 mm/m²; y el gran número de horas de sol al año convertirían la zona de Cádiz en un lugar preferentemente desértico. Amortiguando el efecto de estos factores, se encuentran la existencia de un régimen térmico con pocos contrastes, altos valores de humedad relativa, con una media anual de 75.0 %, su

posición costera, y el efecto de vientos de poniente provenientes del Atlántico, y por consiguiente húmedos.

El predominio de los vientos de Levante ha jugado un papel muy importante en la zona. Al ser un viento que alcanza velocidades relativamente altas, y de gran sequedad, se convierte en un elemento decisivo a la hora de considerar la producción de sal en la zona. Esta importancia se manifiesta por el hecho de que la mayoría de los cristalizadores de las salinas se encuentran orientados en dirección E y/o SE.

6. ESTACIONES DE MUESTREO.

A nuestro grupo le fueron asignadas cuatro estaciones, en las cuales tuvimos que determinar en los forófitos arbóreos que, en ellas encontramos las especies líquénicas presentes.

Las estudiadas se encontraron en los siguientes enclaves:

E1.–Plaza San Juan de Dios.

E2.–Calle Campo de las Balas.

E3.–Calle Alcalá Galiano (anteriormente c/ LONDRES).

E4.–Plaza Candelaria.

En estas calles hemos elegido de promedio unos cinco forófitos arbóreos , durante los días 4 y 5 del mes de Febrero del presente año. Para esto hemos usado los criterios que anteriormente descritos en el apartado referente a la metodología.

6.1. Descripción de las estaciones.

E1.–Plaza San Juan de Dios.

Los forófitos arbóreos encontrados son vulgarmente llamados Lilas de Persia, *Melia azedarach*, con un diámetro promediado, $D = 40$ cm, en la acera Noroeste de la plaza. Se encontraron a unos tres metros de la fachadas de los edificios, y a unos diez metros de la calzada, teniendo una insolación casi constante, con un flujo promediado de vehículos , $F = 240$ vehículos/Hora.

Las especies líquénicas encontradas en los dichos forófitos fueron:

Lecanora achariana.

Lepraria aeruginosa.

Phaeophyscia orbicularis.

E2.–Calle Campo de las Balas.

Los forófitos arbóreos encontrados son vulgarmente llamados Lilas de Persia, *Melia azedarach*, con un diámetro promediado, $D = 40$ cm, con orientación Oeste–Noroeste con una equidistancia de unos cinco metros entre forófitos, con un flujo, $F = 125$ vehículos/Hora.

Las especies líquénicas encontradas en los dichos forófitos fueron:

Lepraria aeruginosa.

Haematomma.

Phaeophyscia orbicularis.

Xanthoria parietina.

E3.-Calle Alcalá Galiano (anteriormente c/ LONDRES).

Los cuatro forófitos encontrados son de la especie: *Robinia pseudacacia*, con un diámetro promediado, D = 35 cm, con unos estados muy deteriorados, tanto que resultaron ser un desierto liquénico en esa calle. En la misma se observó un flujo, F = 250 vehículos/Hora.

E4.-Plaza Candelaria.

Los forófitos encontrados en esta estación son Olmos de Montaña, *Ulmus glabra*, con un diámetro aproximado, D = 50 cm. Dicha estación presentaba un alto grado de humedad por encontrarse en el lado sombreado de la plaza. En ella el flujo, F = 80 vehículos/hora, siendo la única especie encontrada : *Lepraria aeruginosa*.

7. RESULTADOS

Los resultados obtenidos tanto a nivel de nuestro grupo como a nivel de todos en su conjunto fueron los siguientes :

Nota: En el mapa adjunto detallamos las zonas de muestreo de los diferentes grupos.

Grupo 1

E1 Plaza de Loreto (Olmos) IPA = 0.3825

E1 F1 F2 F3 F4 F5 P Am f Q

1 0 0 1 0 0 1 0.2 0.6 2

2 0 0 1 0 0 1 0.2 0.6 2

3 0 0 1 0 0 1 0.2 0.6 2.375

E2 Avda Guadalete (Olmos) IPA = 0.285

E2 F1 F2 F3 F4 F5 P Am f Q

3 0 0 0 1 1 2 0.4 1.2 2.375

E3 Puntales (Olmos) No existen especies IPA = 0

E4 Calle Acacias (Melias) IPA =2.49

E4 F1 F2 F3 F4 F5 P Am f Q

3 1 1 0 1 1 4 0.8 2.4 2.375

4 1 0 1 0 1 3 0.6 1.8 4

5 1 1 0 0 0 2 0.4 1.2 4

6 0 0 1 0 1 2 0.4 1.2 4

7 1 0 0 0 0 1 0.2 0.6 4

- *Candelaria* sp..
- *Caloplaca* sp..
- *Lepraria aeruginosa*.
- *Lecanora muralis*.
- *Phaeophyscia orbicularis*.
- *Lecania nylanderiana*.
- *Rynodina* sp..

Grupo 2

E1 (Melias) C/ Fantasía Bética Sin especies

E2 (Melias) C/ Vida Breve Sin especies

E3 (Melias) C/ Atlántida IPA =0.18

E3 F1 F2 F3 F4 F5 P Am f Q

8 1 0 0 0 0 1 0.2 0.6 1

9 1 0 0 0 0 1 0.2 0.6 2

8 *Caloplaca aurantia*.

9 *Lecania cirtelina*.

E4 (Olmos) Avda Ana de Viya Sin especies

Grupo 3 Todo Melias

E1 García Lorca IPA = 0.7698

E1 F1 F2 F3 F4 F5 P Am f Q

1 0 1 0 0 0 1 0.2 0.6 3

2 0 0 0 0 1 1 0.2 0.6 3.67

3 0 0 0 0 0 0 0 4

4 0 0 0 1 0 1 0.2 0.6 3.5

5 0 1 1 0 0 2 0.4 1.2 1.33

6 0 0 0 0 0 0 0 0 2

E2 Avda de Valencia IPA = 1.23

E2 F1 F2 F3 F4 F5 P Am f Q

1 0 0 0 0 0 0 0 0 3

2 0 0 0 0 0 0 0 0 3.67

3 0 1 0 1 0 2 0.4 1.2 4

4 0 0 1 1 1 3 0.6 1.8 3.5

5 0 0 0 0 0 0 0 0 1.33

6 0 1 0 0 0 1 0.2 0.6 2

E3 Avda Andalucía frente colegio M^a Auxiliadora IPA = 0.1596

E3 F1 F2 F3 F4 F5 P Am f Q

1 0 0 0 0 0 0 0 0 3

2 0 0 0 0 0 0 0 0 3.67

3 0 0 0 0 0 0 0 0 4

4 0 0 0 0 0 0 0 0 3.5

5 1 0 1 0 0 2 0.4 1.2 1.33

6 0 0 0 0 0 0 0 0 2

E4 Avda Andalucía frente a San Felipe Neri Sin especies IPA = 0

- *Candelariella xanthostigma*.
- *Caloplaca citrina*.
- *Xanthoria parietina*.
- *Phaeophyscia orbicularis*.
- *Lecania cyrtellina*.
- *Lecanora sambucii*.

Grupo 4

E1 San Juan de Dios (Melias) IPA = 0.85

E1 F1 F2 F3 F4 F5 P Am f Q

1 1 0 1 0 0 2 0.4 1.2 2.71

3 0 1 1 0 0 2 0.4 1.2 3.4

5 1 0 0 0 0 1 0.2 0.6 2

E2 Campo de las balas (Melias) IPA = 1.93

E2 F1 F2 F3 F4 F5 P Am f Q

1 0 1 1 0 0 2 0.4 1.2 2.71

2 0 0 1 1 1 3 0.6 1.8 3.67

3 0 1 0 0 1 2 0.4 1.2 3.4

4 0 0 1 0 2 3 0.6 1.8 3

E3 C/ Londres (Robinias) IPA = 0

E4 Plaza Candelaria (Olmos) IPA = 0.16

E4 F1 F2 F3 F4 F5 P Am f Q

1 1 0 0 0 0 1 0.2 0.6 2.71

- *Lepraria aeruginosa.*
- *Xanthoria parietina.*
- *Phaeophyscia orbicularis.*
- *Haematomma sp..*
- *Lecanora achariana.*

Grupo 5

E1 C/ Honduras [abajo] (Melias) IPA = 0

E2 Fernando el Católico (Robinias) IPA = 0.587

E2 F1 F2 F3 F4 F5 F6 P Am f Q

3 0 0 0 0 0 1 1 0.17 0.585 2.38

5 0 0 0 0 0 1 1 0.17 0.585 4

6 0 0 0 0 0 1 1 0.17 0.585 3.67

E3 Plaza de las Tortugas (Robinias) IPA = 0

E4 C/ Honduras [arriba] (Melias) IPA = 2.968

E4 F1 F2 F3 F4 F5 F6 P Am f Q

1 1 1 0 0 0 0 2 0.33 1.17 6

2 1 0 2 0 0 1 3 0.67 1.84 6

3 1 0 2 0 0 0 2 0.5 1.25 2.38

4 0 1 0 0 0 0 1 0.17 0.59 3.66

5 0 0 1 0 0 0 1 0.17 0.59 4

6 0 0 1 0 0 0 1 0.17 0.59 3.67

7 0 0 1 0 0 0 1 0.17 0.59 3.33

- *Lecanora aitema*.
- *Ronodina sophodes*.
- *Lepraria aeruginosa*.
- *Xanthoria parietina*.
- *Lecanora dispersa*.
- *Caloplaca citrina*.
- *Phaeophyscia orbicularis*.

8. Conclusiones.

En un primer lugar nos gustaría destacar el hecho de que debido al escaso número de estaciones muestreadas, así como de forófitos, no hemos obtenido la suficiente cantidad de datos como para poder elaborar un mapa de isocontaminación a nivel de la ciudad de Cádiz que sea realmente representativo. El intentar hacerlo solo nos proporcionaría una información tan general que no sería significativa. No obstante, nos parece interesante comparar los IPA obtenidos en diferentes puntos de la ciudad ya que podemos extraer algunas conclusiones a nivel local relevantes.....

La zona de Cádiz, donde se ha obtenido el IPA más alto, ha sido en la calle Honduras, en su parte más abierta, proporcionando un valor, IPA = 2.968. Esta circunstancia la podemos atribuir a que se encuentran en un área bajo el constante azote de los vientos en general, así como de la brisa marina, lo que minimiza el efecto contaminador del tráfico que soporta dicha calle. Un dato muy significativo que podría seguir para confirmar esta hipótesis, es la existencia de un IPA = 0, en la parte Sur de esta misma calle, caracterizada por un encajonamiento, lo que impediría la acción desintoxicadora del viento, razón por la cual, se supone que el crecimiento de los líquenes es tan pobre.

Una situación similar la podemos encontrar en la calle, Campo de las Balas, la cual posee un IPA también alto, IPA = 1.93. En este caso el efecto del viento no es tan acusado como en la calle Honduras, si bien, el tráfico que soporta es mucho menor. En contraposición, encontramos zonas de Cádiz, como por ejemplo la Avdas. Ana de Viya, Andalucía, etc., donde el IPA alcanzado es nulo, lo que posiblemente indica un nivel de contaminación relevante, debido en su mayor parte, al tráfico.

Asimismo, encontramos zonas con IPA intermedios, tales como la plaza de Loreto, Avda. de Guadalete, Plaza de S. Juan de Dios, ..., etc., que normalmente soportan un tráfico no muy intenso, encontrándose en áreas más o menos abiertas y expuestas al viento.

En general podemos decir que Cádiz no es una ciudad que posea un alto nivel de contaminación, debido a varias razones, entre las que destacamos las siguientes:

- 1.- Tráfico no excesivamente intenso, salvo en zonas localizadas.
- 2.- Ausencia de importantes focos de contaminación cercanos, como fábricas industriales, etc.

3.- Constante presencia de vientos que barren la ciudad y renuevan su atmósfera.