

INVESTIGACION CON LIQUENES COMO INDICADORES DE LA CONTAMINACION Y SU APROVECHAMIENTO EN LA EDUCACION AMBIENTAL

■ Werner Grüninger y
Miriam Velarde

INTRODUCCION:

Si se hace un viaje a través de diversos lugares, por ejemplo de la región industrializada alemana a los Alpes suizos o de la ciudad de México a la Península de Yucatán se pueden observar fácilmente los líquenes como indicadores de la contaminación: en las áreas de aire puro se ven líquenes en forma de manchas grises, amarillas, pardas, blancas y verdes sobre los troncos de los árboles. En las regiones contaminadas esto no es posible porque no existen más.

Es posible observar que entre los dos extremos hay regiones de transición.

Al observar esta situación se puede hacer un juicio sobre el estado de contaminación de cada región; este juicio es independiente del día en que se haga la observación, porque los líquenes siempre están funcionando y proporcionan un valor promedio de la contaminación.

Este "VER CON OJOS DE LIQUEN" debería ser parte de la enseñanza ambiental para que los estudiantes puedan hacer un reconocimiento de la realidad ecológica de su comunidad, a la vez en un trabajo investigando líquenes como bioindicadores, los alumnos también aprenden el valor y los límites de la investigación científica.

Con este artículo, queremos estimular el uso de los líquenes como bioindicadores en América Latina.

Se persiguen dos fines:

1. Orientar a los biólogos en universidades, agencias de control del medio ambiente y en escuelas, sobre las bases de la bioindicación con líquenes y los métodos de medición.
2. Demostrar con ejemplos realizados en Alemania, con profesores en escuelas, cómo pueden estructurarse proyectos con líquenes.

En la primera parte se hace un análisis de las bases biológicas del funcionamiento de los líquenes como bioindicadores, haciendo una comparación del valor de la bioindicación y los resultados con mediciones técnicas.

A continuación se presentan los métodos para medir la contaminación con los líquenes.

Finalmente se exponen como una consecuencia los proyectos realizados en escuelas.

LOS LIQUENES COMO BIOINDICADORES:

En este inciso se muestra cómo los líquenes proporcionan información sobre el estado de la atmósfera. En qué consiste la información y cómo ellos producen esa información. Finalmente con las respuestas a estas dos interrogantes se puede hacer una comparación entre los resultados obtenidos con mediciones técnicas.

Cuatro tipos de bioindicación:

Los líquenes expuestos a la atmósfera pueden acumular sustancias contaminantes.

Por el análisis del líquen pulverizado es posible obtener la información sobre la clase y la cantidad de contaminantes en un área determinada, esto se realiza en el laboratorio con aparatos de alta

tecnología y por eso este análisis de residuos no puede ser realizado en las escuelas.

También, los líquenes reaccionan metabólicamente contra los contaminantes, aunque al principio estas señales no son visibles, por ejemplo en la reducción de fotosíntesis, aumento de respiración, etc. (Fig. No. 2). Posteriormente pueden evidenciarse por medio de manchas blancas que indican necrosis, por una reducción del tamaño del líquen o por la desaparición total del mismo.

Esta situación puede estudiarse con los alumnos en la escuela porque no requiere tecnología especializada.

TABLA No. 1

La combinación de dos objetos de medición (líquenes espontáneos y líquenes transplantados) y dos parámetros de medición (análisis de residuos y análisis de efectos) proporciona 4 tipos de Bio-indicación.

	LIQUENES ESPONTANEOS (monitoreamiento pasivo)	LIQUENES TRANSPLANTADOS (monitoreamiento activo)
Substancias Acumuladas (Análisis de Efectos sobre fenómenos de la Vida. (Análisis de efectos))	Mapeo de los residuos	Análisis estandarizados de residuos
	Mapeo de la distribución de las especies.	Prueba de exposición

Los dos métodos, Análisis de Residuos y Análisis de Efectos, no sólo se aplican a líquenes espontáneos (aquellos que existen en la naturaleza) sino también a líquenes transplantados por el investigador desde un área no contaminada hacia un área contaminada. (Tabla No. 1).

En este caso también el primer método no es posible utilizarlo en las escuelas, pero el segundo sí.

Pueden plantearse las siguientes interrogantes: ¿Reaccionan los líquenes ante una sustancia específica?, como en el caso del tabaco que reacciona ante el ozono o el tulipán que lo hace ante el ácido fluorhídrico, o ¿reaccionan de una manera general?

En el laboratorio se ha comprobado que los líquenes reaccionan específicamente contra el dióxido de azufre (SO₂), ácido fluorhídrico (HF) y metales pesados, pero en la realidad hay siempre una mezcla de contaminantes en la atmósfera y no existen aislados. (Guderian 1977)2.

La mayoría de autores creen que los líquenes no reflejan la contaminación por una sustancia sino que indican el grado de la contaminación en general. (Arndt, 1982)1.

La Biología de los líquenes y sus bioindicaciones:

Los líquenes son hongos, en su mayoría Ascomycetes unidos genéticamente a una alga en una relación simbiótica. Los hongos no pueden clasificarse como vegetales por su filogenia, su estructura celular y su alimentación, sino que se ubican en el reino hongos a la par de los reinos Vegetal, Animal, Protista y Procariontes.

Los líquenes que son idóneos para la bioindicación viven sobre la corteza de los árboles, son epífitas que dependen totalmente del aire.

Los hongos liquenizados son organismos de vida modesta porque ellos necesitan poca concentración de nutrientes, pueden vivir largos períodos desde unos años hasta cientos y cuando la cantidad de agua disminuye ellos pueden suspender sus señales de vida sin morir. Como una consecuencia de esto, ellos han podido tomar nichos ecológicos prohibidos a sus antecesores no liquenizados.

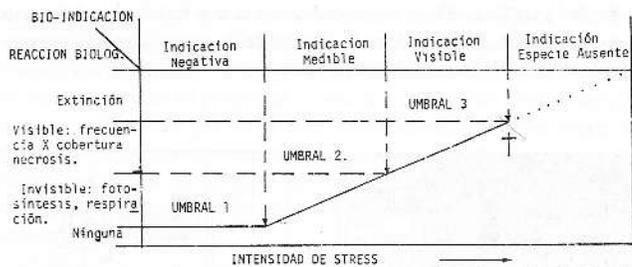


Fig. 2. Bioindicación como reacción de un líquen contra el estrés de una sustancia dañina del medio ambiente.

Cuando los efectos de los contaminantes se prolongan, entonces se observan síntomas exteriores en el líquen, necrosis en forma de manchas blancas, reducción de la vitalidad, reducción del crecimiento y la muerte de individuos.

Estos efectos se pueden evidenciar por medio de un mapeo de la vegetación de líquenes.

En el laboratorio se ha comprobado que las diversas especies de líquenes tienen diferentes mecanismos de resistencia a la contaminación. Por un lado existen mecanismos para evitar (Avoidance), por ejemplo, la organización del talo, hidratación y disminución de la toxicidad por sustancias amortiguadoras y ácidos liquénicos, por otro lado existen mecanismos de tolerancia (Tolerance) por resistencia plasmática y de esta manera ha sido posible establecer secuencias de toxi-tolerancia de diversas especies de líquenes (Hale, 1974)⁵, así como secuencias de sensibilidad a la pérdida del agua.

Por ejemplo en un área urbana que representa una isla térmica, no se encuentran los siguientes géneros *Usnea* y *Ramalina*, que vienen de áreas nubosas y *Sticta* y *Lobaria* que vienen del bosque húmedo.

Se puede interpretar un levantamiento de líquenes en una zona urbana, si se combinan los conocimientos sobre su sensibilidad a la pérdida de agua y su tolerancia a la toxicidad.

Comparación de la bioindicación con métodos técnicos de medición de contaminación:

Cada medición técnica proporciona información sobre el estado de la contaminación. Por ejemplo, la concentración de sustancias nocivas en un momento dado y la bioindicación nos dice el dato promedio en un año, en un área.

Una red de medición automática proporciona información sobre el aumento de la concentración de diversas sustancias que pueden ser peligrosas para determinada área y esta indicación es rápida, por ejemplo, cuando se divulga una alarma de smog.

En cambio los líquenes miden un peligro permanente y su indicación es lenta.

Los aparatos de una estación técnica, proporcionan información sobre sustancias para las cuales son diseñados. Los bioindicadores, en cambio miden de una manera integral todas las influencias ambientales sobre los organismos vivos, ayudan en la búsqueda de fuentes de contaminantes de naturaleza desconocida por ejemplo el flúor de una industria de arcilla.

Los bioindicadores señalan los efectos de la contaminación sobre su metabolismo y pueden ser representativos de lo que ocurre en otros seres vivos, cada persona puede percibir fácilmente los efectos de la contaminación sobre ellos y tener una visión integral de lo que está ocurriendo a su alrededor.

La tecnología no nos proporciona más datos que no significan nada para el laico y que además no tienen ninguna representación para ningún organismo.

La medición con aparatos técnicos debe repetirse muchas veces, el procedimiento es caro y es un dato aislado de un área limitada; en cambio en los líquenes la medición se hace una vez, el procedimiento resulta barato y proporciona información de un área relativamente grande.

Al terminar la revisión de ambos sistemas surgen diferentes conclusiones, que pueden ser empleadas por los gobiernos o por las escuelas para el control del medio ambiente.

El funcionamiento que controla el medio ambiente necesita los dos sistemas porque ambos se complementan y uno no puede sustituir al otro, así en Europa los gobiernos han instalado registros de emisiones e inmisiones y también de los efectos de la contaminación (Arnd, Nobel, von B'nau 1982)¹.

Nosotros en las escuelas debemos usar los métodos simples, baratos y observables de la bioindicación.

MÉTODOS PARA MEDIR LA CONTAMINACION DE LOS LIQUENES

El núcleo de toda investigación sobre la contaminación, debe ser el trabajo en el campo.

El análisis de residuos debe ser excluido de las escuelas, como ya fue indicado.

MÉTODOS DE INVESTIGACION:

A continuación se describen varios métodos para la investigación de los bioindicadores, uno de ellos es un método de Transplante y los otros son métodos de Mapeamiento.

1. Método de Exposición

Se marca un área de estudio con las estaciones de medición que se desee, las cuales están formadas por dos árboles cada una, se colectan partes de ramas con una especie de líquen en un ambiente puro. Sobre los árboles de cada estación se colocan 10 muestras de ramas a una altura entre 1 y 2 metros.

Después se toman fotografías (diapositivas) a una distancia de 80 cm., utilizando flash (para homogenizar la luz). Transcurridas 6, 12, 18 semanas se repite el procedimiento.

En el salón de clase se hace el tratamiento de datos obtenidos. Se proyecta con dos aparatos simultáneamente. Así el grupo investigador puede comparar las diapositivas de dos fechas sucesivas y establecer la diferencia de daños en el porcentaje. Con los datos de 10 repeticiones en cada estación se obtiene un dato promedio de la tasa de necrosis de la superficie del talo.

Estos datos se colocan en un mapa de la región, utilizando alguna señal o color para distinguir zonas de contaminación.

La evaluación del método nos indica:

- Este no necesita conocimientos de liquenología del profesor o los alumnos.
- Se necesita perseverancia para tomar mediciones en las fechas establecidas y hacer el seguimiento hasta el final.
- Este método nos proporciona información de un área pequeña.
- La información obtenida es actualizada (de las últimas semanas), y permite saber la tendencia de la contaminación en un área determinada.

Las autoridades en el control del medio ambiente, en Alemania usan un método estandarizado de Transplante con la especie *Hypogymnia physodes*.

Este método es importante para la escuela pero es más importante para el control ejercido por las autoridades, sobre el medio ambiente.

2. Métodos de Mapeamiento de líquenes corticales

En el trabajo de investigación de líquenes, primero se seleccionan los lugares de trabajo (estaciones de medición), a continuación se determina la especie de árbol (phorophyta), después se hace el levantamiento de datos y por último éstos se procesan en el laboratorio.

En los trabajos en las escuelas, un factor limitante es la falta de conocimientos sobre liquenología de los investigadores. En cuanto en la ciencia se investigan normalmente todas las especies, en las escuelas se investigan un pequeño número, que tenga características fáciles de reconocer o se usan métodos que no necesitan identificar las especies.

Un impedimento para el trabajo sobre líquenes, en las escuelas de Alemania fue la falta de nombres comunes para identificarlos y esto obligó a los investigadores a establecerlos.

Aquí en América Central, también es necesario introducir nombres comunes simultáneamente a la clasificación científica.

TABLA No. 2

Nombres comunes para cinco especies de líquenes, utilizadas en un trabajo de investigación realizado en un colegio de la ciudad de Guatemala.

Nombre en castellano	Nombre científico
Líquen de borde pardo	<i>Parmotrema sp.</i>
Líquen de discos negros	<i>Physcia alba</i>
Líquen de borde peinado	<i>Dirinaria picta</i>
Microlíquen amarillo	<i>Candelaria concolor</i>
Líquen de escritura árbol	<i>Graphis sp.</i>

2.1. Selección de estaciones de medición:

Se escogen los lugares de medición, en el área de trabajo que pueden tener 2-5 árboles de una especie determinada y deben estar en una zona que sea representativa. Se excluyen fuentes locales de contaminación, como por ejemplo, paradas de buses y fábricas que tienen altas y grandes chimeneas.

Cuando en el proyecto se planifica el trabajo práctico, con los alumnos para realizar en una sola excursión, debe colocarse las estaciones en un trayecto que abarque varias zonas de contaminación.

2.2 Selección de la especie de árbol. (Phorophyta)

El árbol anfitrión que sustenta a los líquenes es llamado phorophyta. Debe seleccionarse una sola especie, para excluir ciertas condiciones como diferentes tipos de corteza, el pH, capacidad de actuar como amortiguador y concentración de agua, que puede influir en los resultados de la investigación, también deben excluirse especies de árboles que son enemigos de los líquenes como por ejemplo, sabino (*Taxodium distichum*) y plátano (*Platanus sp.*).

Al escoger la especie de phorophyta debe tomarse en cuenta que no sean muy jóvenes, en el caso de jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*), se establece que la circunferencia del tronco no sea menor de 90 cm; otra condición es que el tronco no tenga una inclinación mayor de 30°.

No deben tomarse árboles que tengan daños por ejemplo, causados por niños, ganado, que tengan pintura de cal hasta cierta altura o que hayan sido rociados con pesticida.

No deben utilizarse árboles con mucha sombra causada por arborescentes a su alrededor o ramas bajas, deben ser árboles aislados que no estén muy cerca de otros como en el bosque.

Es usual en todo el mundo que las mediciones se hagan a una altura de 1-2 metros, porque a esa distancia respiran los humanos. Las condiciones de vida para los líquenes son diferentes a una altura más baja o más alta.

Se determina la fracción (1/4) del perímetro del tronco, que tenga el mejor desarrollo de líquenes para hacer allí la medición.

2.3 Medición de la presencia

Se busca la presencia de una especie determinada o algunas especies estandarizadas o, en proyectos científicos, la presencia de todas las especies que hayan en el árbol. En proyectos que usan el método de presencia, se trabaja muchas veces con dos especies de árboles.

En proyectos escolares en Inglaterra, con la participación de 2000 alumnos, se hizo un levantamiento de la presencia o ausencia de tres tipos de vida de líquenes: crustáceos, foliáceos y arbustivos que permitió hacer un mapa con las zonas de contaminación del país. (Mabey, 1974)8.

Este método es idóneo para marcar las zonas de contaminación, pero requiere la participación de un experto que conozca el valor indicativo de las especies.

2.4 Estimación de la cobertura:

Se define la cobertura como la superficie del tronco cubierta de líquenes. Una frase conocida es "que a mayor contaminación, menor cobertura". Y para su estimación se establecen las siguientes clases: - 1%, 1-5%, 5-10%, 10-20%, 20-50% y 50-100%. Este método es lo más común en proyectos científicos.

Para los alumnos es difícil la estimación de la cobertura y este método no es reproducible.

2.5 Medición de aciertos:

Se construye una plantilla en un acetato, como se ilustra en la figura No. 3. Se trazan 10 líneas entrecruzadas, a 2 cm. de distancia cada una resultando 100 puntos en los cuales las líneas se intersectan. Debe contarse cuántos de estos puntos aciertan sobre un líquen. Los datos obtenidos corresponden al porcentaje de la cobertura.

Como puede verse en la figura 3 la especie A tiene 8% de aciertos y la cobertura total de líquenes es 32%.

Este método es recomendable para las escuelas, porque no necesita identificar las especies y tiene un alto valor científico, su valor científico consiste en el hecho que proporciona datos reproducibles.

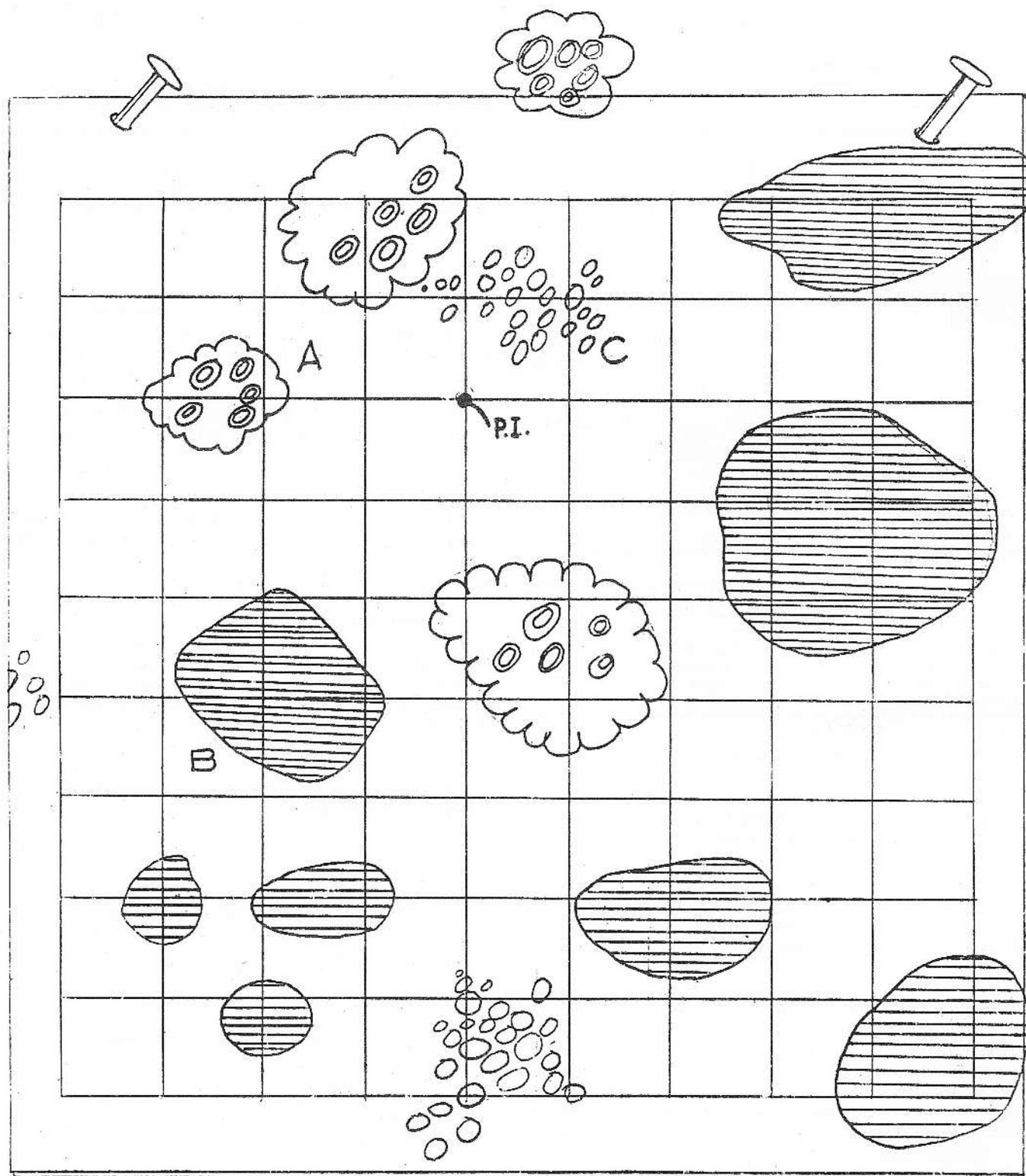


Figura 3. Plantilla en acetato para medición de aciertos sobre un árbol con tres tipos de líquenes: A, B y C.

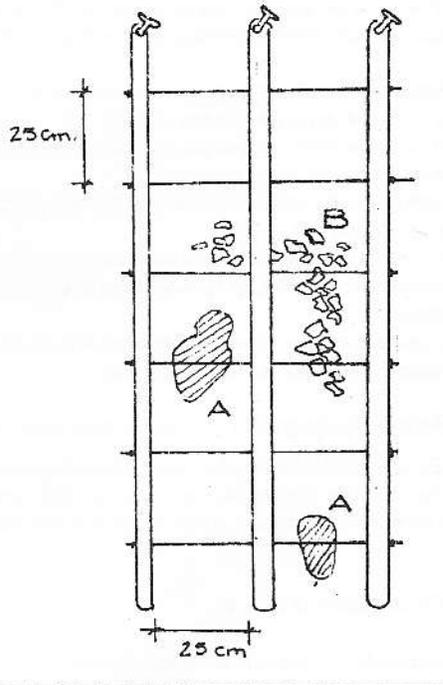
P.I.: Puntos de intersección. La cantidad de puntos de intersección que coinciden sobre un líquen, corresponden al porcentaje de cobertura de ese líquen. Por ejemplo el % del líquen A = 8% = 8 puntos de intersección.

2.6 Medición de la frecuencia

En este método se cuenta el número de veces que aparece una especie en cada uno de 10 rectángulos, independiente del número de veces que se repite en cada rectángulo.

FIGURA No. 4

Instrumento para medir la frecuencia



Como puede verse, la frecuencia de la especie A es 3 en 10 y en el caso de la especie B es 4 en 10.

Este método es fácil para los niños y tiene alto valor científico porque es reproducible.

2.7 Diversidad:

La diversidad es el número de especies que hay en un área: "A mayor diversidad de líquenes, menor contaminación".

Los más sensibles desaparecen al inicio de la contaminación.

En el mapeo de zonas de contaminación, se utiliza la siguiente clasificación:

- Zona de desierto de líquenes.
- Zona de transición: Zona de combate interior y zona de combate exterior.
- Zona normal.

En este método se usa la plantilla (figura 3) en la cual se pasa un dedo sobre el primer punto de la primera línea, luego sobre el segundo punto, el tercero, etc. en cada punto se hace un juicio: ¿es el líquen sobre este punto igual o diferente del anterior?. Si no hay líquen en este lugar debe tomarse el más próximo para tomar esta decisión.

Ejemplo: En el primer punto hay un cambio porque lo anterior es nada y nos referimos al líquen grande de la derecha.

En los puntos 2 hasta 4: no hay cambio porque la referencia es el mismo líquen.

En el punto 5: hay un cambio porque el más próximo es otro líquen llamado C.

En el punto 6: hay otro cambio porque estamos cerca de un nuevo líquen. Así el resultado de la primera línea es 3 cambios en 10 puntos.

Los resultados de las otras 9 líneas horizontales son: 3, 3, 4, 4, 3, 3, 3, 3, = 33 cambios en 100 puntos.

En total tenemos 3 cambios en 100 puntos de cruce, lo que representa una diversidad de 0.33.

En un proyecto científico, el índice de diversidad puede ser calculado por los valores de todas las especies de líquenes.

Este método de medición de la contaminación del aire no aplica conocimientos de las especies, pero tiene un alto valor científico porque al indicar la diversidad informa del stress al que están sometidas las especies.

Este índice universal de diversidad da información para cada ecosistema y para cada tipo de stress. Por ejemplo falta de agua, influencia de temperatura, sustancias tóxicas o influencia del hombre.

En la escuela se puede usar para determinar clases de contaminación en los ríos, utilizando invertebrados como bioindicadores.

3.3. Tratamiento de resultados:

Los resultados se ordenan ascendentemente y se forman clases. El número de éstas depende del área que se investigue. Hay algunas regiones que presentan 3 zonas y otras menos. Compárese con a, b, c, en 3.27. En proyectos oficiales de investigación se calculan índices especiales, por ejemplo el Index of Air Purity. IAP (Le Blanc, de Sloover 1970) Grüniger, W. Gruner E. y Schnitzer. 1980, o el valor de Poleo toleranza. P. (Hawksworth/Rose 1976) para la formación de clases.

A cada estación se le asigna un valor de clase y luego se colocan en el mapa de la región, identificándolas con un color diferente. Estas zonas de daños de líquenes representan zonas de contaminación del aire.

En la discusión final, se trata de encontrar las explicaciones de la zonación: fuente de contaminación, la topografía de la región, la dirección del viento, capas de inversión térmica y dimensión de la isla térmica.

Como resultado final de estas explicaciones de nuestro proyecto se presentan sugerencias, para mejorar la situación ecológica.

Para asegurar el éxito del proyecto, en el proceso de la educación ambiental debe hacerse una revisión con el grupo de estudiantes, para evaluar todas las etapas del mismo.

DESARROLLO DE PROYECTOS CON FINES PEDAGÓGICOS REALIZADOS EN ALEMANIA

En un proyecto sobre la contaminación del aire realizado en la escuela se necesitan por lo menos 6 períodos para desarrollarlo.

En los siguientes ejemplos se combina el estudio de la biología con otras disciplinas: lenguaje, geografía y química.

Métodos de aciertos, combinado con una secuencia de química:

En la primera clase de química fue tratado el SO_2 y su efecto nocivo sobre las plantas, con el experimento de la figura 5.

En el segundo período de química se revisaron en clase, artículos de periódicos que informaban sobre contaminación, con varias sustancias.

En un experimento se colocaron semillas de soya en germinación, dentro de bolsas plásticas y luego se pusieron en contacto con los gases del tubo de escape de un automóvil.

En la siguiente semana se observó que la mayoría de las semillas no continuaron germinaciones.

La primera clase de Biología trató sobre la relación de simbiosis en un líquen (Fig. 1).

En la siguiente clase de Biología se realizó una excursión de 4 horas por la ciudad. Cada grupo de alumnos recibió un plano de la ciudad, una plantilla (Fig. No. 3) y hojas diseñadas para anotar sus observaciones.

El trayecto recorrido fue de 5.5 km. y se instalaron 8 estaciones para la medición, con el método descrito como medición de aciertos.

Después de algunos alumnos realizaron voluntariamente mediciones en otros puntos de la ciudad. En el siguiente período de Biología todos los resultados obtenidos fueron colocados sobre el mapa de la ciudad.

En otros períodos posteriores, correspondientes al curso de lenguaje y arte los alumnos elaboraron un periódico mural, en el cual se incluía el mapa de la ciudad con la zona de contaminación, descripción del método, fotografías y muestras de líquenes.

El periódico se colocó en un pasillo e informó a todo el colegio de la actividad y esta exposición de su trabajo substituyó a una prueba de evaluación.

FIGURA No. 5



TABLA No. 3

CONCENTRACION DE SO₂ EN EL EXPERIMENTO DE EXPOSICION

Concentración en la caja de Petri con NaHSO ₃	Concentración de SO ₂ en la atmósfera de experimento
0.001% de NaHSO ₃	0.5-0.7 ppm. (valor de inmisión permitido: 0.5 ppm.)
0.01%	5-7 ppm.
0.001%	50-70 ppm.
1.0%	500-700 ppm

Método de presencia de especies estandarizadas combinado con geografía.

En este método se necesitaron cinco clases de Geografía, 6 de Biología y una en común al final.

Geo. 1: Introducción al tema con el film "No hay vida sin aire".

Bio. 1: Excursión en el patio del colegio para distinguir algas, líquenes y musgos sobre la corteza de los árboles, discusión sobre la vida de estas epífitas.

Geo. 2: La industria de la ciudad de... y su influencia en la contaminación del aire.

Bio. 2: Dar a los alumnos muestras de especies de líquenes para que los conozcan con microscopía o con lupa. Implementación del experimento. (Fig. 5).

Geo. 3: El tráfico como fuente de la contaminación.

Bio. 3: Interpretación de los resultados del experimento (experimento de Bio. 2).

Explicación del método de las especies estandarizadas, (Fig. 6), enfrente de un árbol del patio de la escuela.

El valor indicativo de los líquenes fue establecido por liquenólogos en Europa y en América Central. Un modelo de hojas semejante fue utilizado en Alemania y publicado en el libro de texto (Grüniger, W. et. al 1981). Utilizando las siguientes ocho especies: *Lecanora conizacoides*, *Parmelia sulcata*, *Xanthoria parietaria*, *Hypogymnia physodes*, *Phycia ascends*, *Evernia prunastri*, *Pseudevernia furfurascens* y *Usnea sp.*

En América Central este ejemplo fue adaptado para mostrar a los profesores con qué especies pueden trabajar. En ambos casos se emplearon nombres comunes, porque resulta imposible usar nombres científicos con los niños en las escuelas.

Con estas especies estandarizadas, los alumnos pueden evaluar la bioindicación ("Zona") de un árbol.

El índice de la bioindicación de la estación consiste en el promedio de por lo menos cuatro árboles, que pueden estar distribuidos en un radio de 400 metros.

Lo aconsejable es usar una especie de árbol, si se usan dos, entonces deben tomarse dos de cada una de las especies.

Geo. 4: Efecto de la topografía y los vientos en la ciudad de...

Bio. 4: En una excursión, los alumnos aplican el método en dos estaciones: una con alta contaminación y otra con baja contaminación. Tarea para hacer en casa: aplicar el método en una estación cerca de su vivienda.

Geo. 5: Continuación de Geo. 4.

Bio. 5: Conferencia utilizando recortes sobre los efectos de la contaminación en vegetales, animales y humanos.

Bio. 6: Los resultados de las estaciones de mediciones son colocados en un mapa de la ciudad, utilizando pequeñas banderitas de colores para cada zona de contaminación, las cuales pueden ser:

- Zona normal (aire puro)
- Zona de pocos daños en los líquenes. (baja contaminación del aire).
- Zona de líquenes muy dañados (contaminación del aire). En esta última se unen las zonas uno y cero de la hoja de trabajo (figura 6) para los alumnos, en el método de especies estandarizadas para la evaluación de la zona de contaminación de un árbol.

Al final de una sesión común con el profesor de Biología y Geografía se presenta:

Resumen del trabajo:

- Resultados del trabajo de campo.
- Causas de la contaminación del aire en la ciudad...
- Ubicación de las mejores áreas residenciales de la ciudad...
- Planificación del futuro desarrollo de áreas residenciales, industriales y de recreación.

4.4. RESULTADOS PEDAGOGICOS

La mayoría de los alumnos fue motivado por este método de trabajo independiente. Esto fue demostrado por el hecho que entregaron