



Medición de calidad del aire a través de la presencia de líquenes en la Comunidad IVU – San Salvador

Elaborado por FUNDASAL

Mayo, 2020

San Salvador, El Salvador

JUSTIFICACIÓN

Ante la dificultad de medir la mejora en la calidad del aire como uno de los servicios ecosistémicos que brindan los árboles en la ciudad, esto debido a la escasa presencia de estaciones de monitoreo de contaminación atmosférica dentro de las áreas de intervención, el equipo del proyecto City Adapt desarrolló una metodología a través de la observación de líquenes como bioindicadores de calidad del aire.

Los líquenes están conformados por un hongo y una o varias poblaciones fotosintéticas de algas o cianobacterias. Son sensibles a la presencia de compuestos tóxicos en la atmósfera. El método del Índice de Pureza Atmosférica (IPA) permite evaluar la calidad del aire con líquenes, combinando el número de especies presentes en un sitio con la sensibilidad de estas a ciertos contaminantes ambientales. La fórmula del IPA que utiliza la frecuencia como parámetro de bioindicación ha demostrado ser la más eficaz; además que aporta datos sobre la cobertura líquénica y la diversidad de especies. Este índice puede ser también identificado en la bibliografía como "Lichen Biodiversity" (Santoni, 2006)¹.

Los tipos de líquenes que se observan son tres:

- Costrosos: viven adheridos al sustrato, de tal forma que es difícil separarlos sin destruirlos. Son capaces de sobrevivir en circunstancias muy extremas.
- Foliosos: poseen el talo ligeramente despegados del sustrato, y no de forma tan unida como los anteriores.
- Fruticolosos: en forma de pequeñas ramitas.

Se pretende, que la metodología empleada en la investigación, pueda ser considerada como modelo para replicarlo en intervenciones futuras.

Objetivo: validar en una comunidad urbana la metodología de evaluación de la calidad del aire, mediante el uso de líquenes como bioindicadores .

Metodología

Muestreo de líquenes para determinar contaminación del aire.

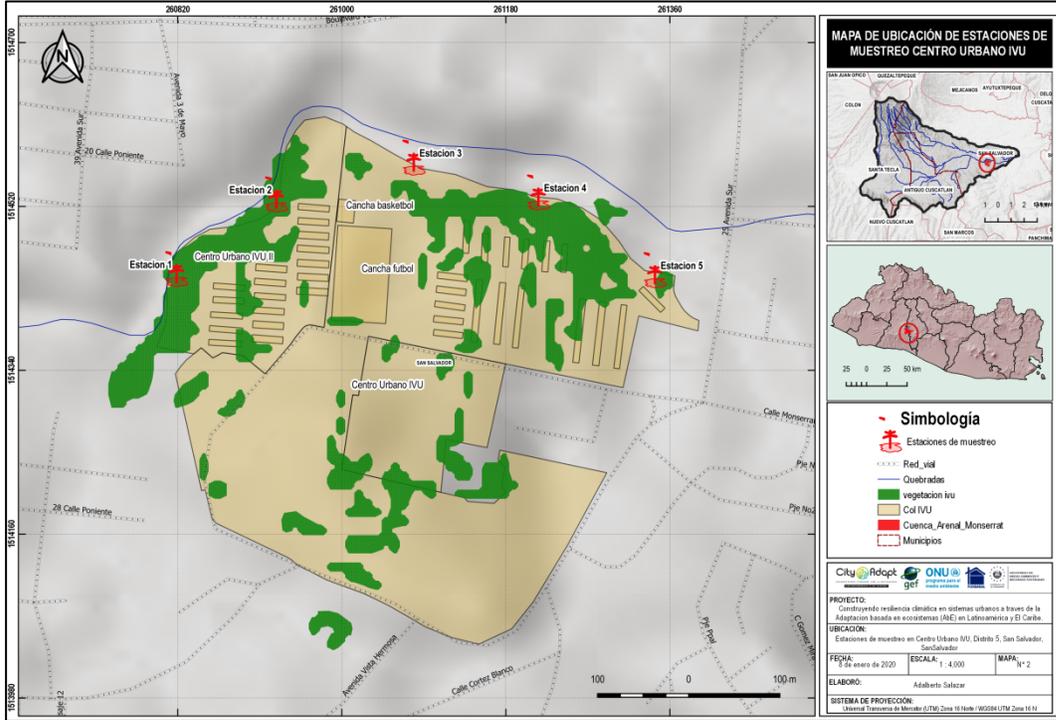
| PASOS | DESCRIPCIÓN |
|--|---|
| PASO 1. Selección de sitios de muestreo | Se seleccionaron en base a recorrido por el sitio los espacios con mayor densidad de árboles y que estos tuvieran dos características principales, estar cerca de la quebrada y evidenciar presencia de líquenes. |
| PASO 2. Georreferencia | Una vez determinados los sitios de muestreo, se georreferenciaron con ayuda de un GPS, esto con la finalidad de contar con las coordenadas exactas de los sitios donde se identificaron los líquenes. |

¹ Santoni, C; Lijteroff, R. (2006). Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de bioindicadores en la provincia de San Luis, Argentina.

| PASOS | DESCRIPCIÓN |
|---|--|
| PASO 3. Selección de árboles | Definidas y referenciadas las unidades de muestreo se procedió a seleccionar cinco arboles de cada sitio, se toma como muestra aquellos que presentaran diferentes tipos de líquen (determinados en base a forma y coloración por simple inspección) siendo los arboles de corteza rugosa los que más evidenciaban la presencia de dichos organismos, para el caso del espacio observado. |
| PASO 4. Muestreo de los líquenes | Para realizar el muestreo se colocó una grilla de 50 centímetros de largo por 20 de ancho subdividida en cuadros de 10 x 10 centímetros, fijándola al árbol con ayuda de cinta adhesiva, una vez fijada se procedió a realizar la clasificación de los tipos de líquen presentes (costrosos en su mayoría) y se realizó el conteo de los mismos así como el cálculo de porcentaje de cobertura dentro de la grilla, esta información su utilizo para determinar la abundancia y diversidad de especies de líquenes. |
| PASO 5. Colecta de los líquenes | Habiéndose contado, clasificado y determinado el porcentaje de cobertura de cada especie, se procedió a realizar la colecta de los especímenes, esto con la finalidad de determinar a cuál genero pertenecían. La colecta se hizo con ayuda de una navaja, la cual sirvió para desprender el organismo de la corteza de la planta hospedera. Únicamente se colectó un ejemplar de cada tipo para poder ser clasificado con ayuda de claves taxonómicas especializadas. |
| PASO 6. Clasificación e identificación de las especies | La clasificación de las especies de líquen se realizó con ayuda de claves y guías de campo sobre líquenes tomando de referencia estudios previamente realizados en otros espacios urbanos fuera de El Salvador, y verificando en la base de datos de GBIF (Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad, por sus siglas en inglés) la distribución de cada especie determinada. Esto sirvió para asignar puntajes y evaluar en primer momento el índice de resistencia de cada líquen. |
| PASO 7. Determinación de grado de contaminación | <p>Con ayuda de la información obtenida con el muestreo de campo referente a diversidad y abundancia de los líquenes, así como el porcentaje de cobertura, se determinó la capacidad de resistencia a la contaminación del aire en la localidad, teniendo como referencia las emanaciones generadas por tráfico vehicular, emanaciones de gases por descomposición de materia orgánica en botaderos y en las aguas residuales presentes en la quebrada.</p> <p>Se definió el grado de tolerancia de cada especie identificada y con esa información se realizó el cálculo del Índice de Contaminación Atmosférica para cada estación de muestreo y en base a la tolerancia de las especies los resultados y la abundancia de las mismas finalmente se asignaron puntajes para conocer el grado de contaminación y catalogarlo como bueno regular o mala calidad.</p> |

Mapa de ubicación de estaciones de muestreo en Centro Urbano IVU en el distrito 5 del Municipio de San Salvador

RECONECTANDO CIUDADES CON LA NATURALEZA



Se muestreó un total de 25 árboles en la comunidad, los cuales pertenecen a 12 especies diferentes, en los cuales se realizó la evaluación de la presencia de líquenes a fin de obtener el Índice de Pureza Atmosférica (IPA)

| Especie de árbol | Nativa - exótica | Unidad de muestreo | Presencia | Tipo | Número de especies |
|------------------|------------------|--------------------|-----------|----------------------|--------------------|
| Aguacate | nativa | 1 | Si | Costrosos y foliosos | 4 |
| Cerezo beliceño | exótica | 1 | Si | Costrosos y foliosos | 3 |
| Maquilishuat | nativa | 1 | Si | Costrosos y foliosos | 3 |
| Pepeto | nativa | 1 | Si | Costrosos y foliosos | 3 |
| Mango | nativa | 1 | Si | Costrosos y foliosos | 4 |
| Conacaste | nativa | 1 | Si | Costrosos y foliosos | 2 |
| Cerezo beliceño | exótica | 2 | Si | Costrosos y foliosos | 2 |
| Mango | nativa | 2 | Si | Costrosos y foliosos | 4 |
| Mango | nativa | 2 | Si | Costrosos y foliosos | 3 |
| Conacaste | nativa | 2 | Si | Costrosos y foliosos | 5 |
| Pito | nativa | 2 | Si | Costrosos y foliosos | 3 |
| Anono | nativa | 3 | Si | Costrosos y foliosos | 2 |
| Cerezo beliceño | exótica | 3 | Si | Costrosos y foliosos | 4 |
| Mango | nativa | 3 | Si | Costrosos y foliosos | 3 |
| Aguacate | nativa | 3 | Si | Costrosos y foliosos | 4 |

| Especie de árbol | Nativa - exótica | Unidad de muestreo | Presencia | Tipo | Número de especies |
|--------------------|------------------|--------------------|-----------|----------------------|--------------------|
| Conacaste | nativa | 3 | Si | Costrosos y foliosos | 5 |
| Pito | nativa | 4 | Si | Costrosos y foliosos | 2 |
| Laurel negro | nativa | 4 | Si | Costrosos y foliosos | 3 |
| Laurel de la india | exótica | 4 | Si | Costrosos y foliosos | 1 |
| Mango | nativa | 4 | Si | Costrosos y foliosos | 3 |
| Madre cacao | nativa | 4 | Si | Costrosos y foliosos | 3 |
| Maquilishuat | nativa | 5 | Si | Costrosos y foliosos | 4 |
| Marañón | nativa | 5 | Si | Costrosos y foliosos | 3 |
| Cujin | nativa | 5 | Si | Costrosos y foliosos | 2 |
| Cerezo beliceño | exótica | 5 | Si | Costrosos y foliosos | 3 |

Imagen 1. Muestreo de líquenes mediante grillas para conteo en **a** árbol de pito y **b** árbol de mango en la comunidad Centro urbano IVU.

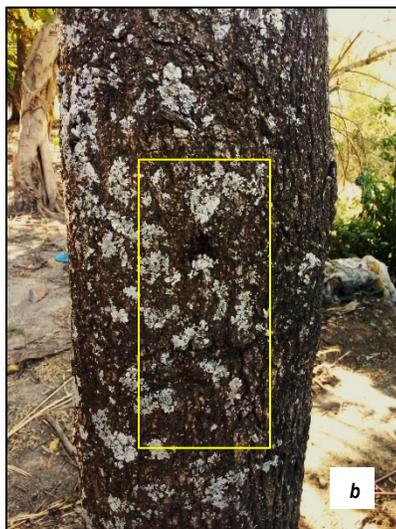


Imagen 2. Diferentes tipos de líquen sobre la corteza de los árboles muestreados sobresalen los de tipo folioso y costrosos



Tomando de referencia los datos recolectados en campo, se realizó el cálculo de los índices IPA e índice de cobertura porcentual

Resistencia de las especies a condiciones ambientales en cada estación de muestreo.

$$Q_i = \sum_j A_j - 1/E_j$$

En la cual:

- Q_i: Factor de resistencia de la especie i
- A_j: Número de especies presentes en cada estación donde se encuentre i
- E_j: Número de estaciones donde se halle i

El cálculo se realizó así en base a datos colectados para cada especie (ver tabla 1).

- Q_{i sp} = (7-1)/4 = 1.5 para *Lecanora sp*
- Q_{i sp} = (7-1)/4 = 1.5 para *Lichinella sp*
- Q_{i sp} = (7-1)/3 = 2 para *Xanthoria sp*
- Q_{i sp} = (7-1)/4 = 1.5 para *Xanthoparmelia sp*
- Q_{i sp} = (7-1)/4 = 1.5 para *Parmelia sp*
- Q_{i sp} = (7-1)/5 = 1.2 para *Caloplaca sp*
- Q_{i sp} = (7-1)/5 = 1.2 para *Catillaria sp*
- Q_{i sp} = (7-1)/3 = 2 para *Collema sp*

La sumatoria de estos valores da como resultado el Q_i para la estación uno con un valor de **12.4**. Este valor será utilizado en el cálculo del Índice de Pureza Atmosférica (IPA)

Índice de Pureza Atmosférica (IPA)

$$IPA_j = \sum (Q_i \times F_i) \times C_i/n$$

En la cual:

- C_i: Cobertura relativa de la especie i en la estación j
- F_i: Frecuencia de la especie i (número de cuadrantes de la estación j en que aparece la especie i)
- n: Número de forófitos (árboles) censados en la estación j

El cálculo se realizó en base a datos generados para cada estación de muestreo (ver tabla 2).

Donde

- 1.5 es el valor de Q_{i sp} 1 de la estación 1
- 5 es el valor de la frecuencia con la que la especie apareció en los cuadrantes de la estación de muestreo 1 (ver imagen 1)

Entonces 1.5*5 = 7.5

Luego:

- C_i = 3.125 % es el valor de cobertura relativa de los líquenes en los árboles muestreados
- n = 5 son el número de árboles muestreado en la estación 1.

La sumatoria acumulada de todas las especies fue $\sum (Q_i \times F_i) = 23.9$ y la $\sum (cob \% / 5) = 2$ (ver tabla 3)

Entonces

IPA Estación 1 = $23.9/2 = 11.95$

Luego se utilizó de referencia la siguiente tabla para determinar el grado de contaminación en la estación evaluada (j) según detalle siguiente:

| Contaminación del aire | | | | |
|------------------------|---------|----------|---------|----------|
| Categoría | baja | moderada | alta | muy alta |
| IPA | 90 - 70 | 60 - 40 | 30 - 20 | 10 - 0 |

*Los cálculos realizados se encuentran en el Anexo.

RESULTADOS OBTENIDOS PARA LAS ESTACIONES DE MUESTREO DE CALIDAD DE AIRE EN CENTRO URBANO IVU

| Estación de muestreo | Qi | IPA | Tipo de contaminación del aire |
|----------------------|-------|-------|--------------------------------|
| Estación 1 | 23.9 | 11.95 | Alta |
| Estación 2 | 14.83 | 7.42 | Muy Alta |
| Estación 3 | 18.3 | 9.15 | Muy Alta |
| Estación 4 | 9.66 | 3.86 | Muy Alta |
| Estación 5 | 12.83 | 5.13 | Muy Alta |

ANEXO . CÁLCULOS PARA ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN ESPECIES DE LÍQUENES

Tabla 1. Valores de resistencia de las especies de líquenes encontrados en la comunidad Centro urbano IVU.

| Estaciones Especie | Estacion 1 | | | Estacion 2 | | | Estacion 3 | | | Estacion 4 | | | Estacion 5 | | |
|--------------------------|------------|----|---------|------------|----|-------------|------------|----|---------|------------|----|-------------|------------|----|-------------|
| | Aj | Ej | Aj-1/Ej | Aj | Ej | Aj-1/Ej | Aj | Ej | Aj-1/Ej | Aj | Ej | Aj-1/Ej | Aj | Ej | Aj-1/Ej |
| <i>Lecanora sp</i> | 7 | 4 | 1.5 | 6 | 4 | 1.25 | 7 | 4 | 1.5 | 6 | 4 | 1.25 | 6 | 4 | 1.25 |
| <i>Lichinella sp</i> | 7 | 4 | 1.5 | 6 | 4 | 1.25 | 7 | 4 | 1.5 | 6 | 4 | 1.25 | 6 | 4 | 1.25 |
| <i>Xanthoria sp</i> | 7 | 3 | 2 | 6 | 3 | 1.666666667 | 7 | 3 | 2 | 6 | 3 | 1.666666667 | 6 | 3 | 1.666666667 |
| <i>Xanthoparmelia sp</i> | 7 | 4 | 1.5 | 6 | 4 | 1.25 | 7 | 4 | 1.5 | 6 | 4 | 1.25 | 6 | 4 | 1.25 |
| <i>Parmelia sp</i> | 7 | 4 | 1.5 | 6 | 4 | 1.25 | 7 | 4 | 1.5 | 6 | 4 | 1.25 | 6 | 4 | 1.25 |
| <i>Caloplaca sp</i> | 7 | 5 | 1.2 | 6 | 5 | 1 | 7 | 5 | 1.2 | 6 | 5 | 1 | 6 | 5 | 1 |
| <i>Catillaria sp</i> | 7 | 5 | 1.2 | 6 | 5 | 1 | 7 | 5 | 1.2 | 6 | 5 | 1 | 6 | 5 | 1 |
| <i>Collema sp</i> | 7 | 3 | 2 | 6 | 3 | 1.666666667 | 7 | 3 | 2 | 6 | 3 | 1.666666667 | 6 | 3 | 1.666666667 |
| $\sum Qi$ | | | 12.4 | | | 10.33333333 | | | 12.4 | | | 10.33333333 | | | 10.33333333 |

Tabla 2. Valores de resistencia y frecuencia observada de las especies de líquenes encontrados en la comunidad Centro urbano IVU.

| Estaciones | Estacion 1 | | | Estacion 2 | | | Estacion 3 | | | Estacion 4 | | | Estacion 5 | | |
|--------------------------|------------|----|-------------|------------|----|--------------|------------|----|-------------|------------|----|-------------|------------|----|--------------|
| Especie | Qi | Fi | (Qi*Fi) | Qi | Fi | (Qi*Fi) | Qi | Fi | (Qi*Fi) | Qi | Fi | (Qi*Fi) | Qi | Fi | (Qi*Fi) |
| <i>Lecanora sp</i> | 1.5 | 5 | 7.5 | 1.25 | 2 | 2.5 | 1.5 | 1 | 1.5 | 1.25 | 0 | 0 | 1.25 | 3 | 3.75 |
| <i>Lichinella sp</i> | 1.5 | 1 | 1.5 | 1.25 | 2 | 2.5 | 1.5 | 2 | 3 | 1.25 | 2 | 2.5 | 1.25 | 0 | 0 |
| <i>Xanthoria sp</i> | 2 | 2 | 4 | 1.66 | 0 | 0 | 2 | 2 | 4 | 1.66 | 0 | 0 | 1.66 | 2 | 3.33 |
| <i>Xanthoparmelia sp</i> | 1.5 | 1 | 1.5 | 1.25 | 0 | 0 | 1.5 | 2 | 3 | 1.25 | 1 | 1.25 | 1.25 | 1 | 1.25 |
| <i>Parmelia sp</i> | 1.5 | 2 | 3 | 1.25 | 2 | 2.5 | 1.5 | 0 | 0 | 1.25 | 1 | 1.25 | 1.25 | 2 | 2.5 |
| <i>Caloplaca sp</i> | 1.2 | 2 | 2.4 | 1 | 3 | 3 | 1.2 | 2 | 2.4 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Catillaria sp</i> | 1.2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1.2 | 2 | 2.4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Collema sp</i> | 2 | 2 | 4 | 1.66 | 2 | 3.33 | 2 | 1 | 2 | 1.66 | 1 | 1.66 | 1.66 | 0 | 0 |
| | | | 23.9 | | | 14.83 | | | 18.3 | | | 9.66 | | | 12.83 |

Tabla 3. Valores de resistencia y frecuencia observada de las especies de líquenes encontrados en la comunidad Centro urbano IVU.

| Estaciones | Estacion 1 | | | Estacion 2 | | | Estacion 3 | | | Estacion 4 | | | Estacion 5 | | |
|--------------------------|-------------|---------------------|------|-------------|---------------------|------|-------------|---------------------|------|-------------|---------------------|------|-------------|---------------------|-------|
| Especie | % cobertura | arboles muestreados | C/n |
| <i>Lecanora sp</i> | 3.12 | 5 | 0.62 | 1.84 | 5 | 0.37 | 0.37 | 5 | 0.07 | 0 | 4 | 0 | 3.5 | 4 | 0.875 |
| <i>Lichinella sp</i> | 0.31 | 5 | 0.06 | 1.32 | 5 | 0.27 | 1.85 | 5 | 0.37 | 2.78 | 4 | 0.69 | 0 | 4 | 0 |
| <i>Xanthoria sp</i> | 1.56 | 5 | 0.31 | 0 | 5 | 0 | 1.85 | 5 | 0.37 | 0 | 4 | 0 | 2.5 | 4 | 0.625 |
| <i>Xanthoparmelia sp</i> | 0.31 | 5 | 0.06 | 0 | 5 | 0 | 1.85 | 5 | 0.37 | 0.56 | 4 | 0.14 | 0.5 | 4 | 0.125 |
| <i>Parmelia sp</i> | 1.56 | 5 | 0.31 | 1.32 | 5 | 0.27 | 0 | 5 | 0 | 0.56 | 4 | 0.14 | 2.5 | 4 | 0.625 |
| <i>Caloplaca sp</i> | 1.56 | 5 | 0.31 | 3.95 | 5 | 0.78 | 1.85 | 5 | 0.37 | 2.78 | 4 | 0.69 | 0.5 | 4 | 0.125 |
| <i>Catillaria sp</i> | 0 | 5 | 0 | 0.26 | 5 | 0.05 | 1.85 | 5 | 0.37 | 2.78 | 4 | 0.69 | 0.5 | 4 | 0.125 |
| <i>Collema sp</i> | 1.56 | 5 | 0.31 | 1.32 | 5 | 0.26 | 0.37 | 5 | 0.07 | 0.55 | 4 | 0.14 | 0 | 4 | 0 |
| | | | 2 | | | 2 | | | 2 | | | 2.5 | | | 2.5 |

Tabla 4. Valores de Índice de Pureza Atmosférica (IPA) para cada estación de muestreo en la comunidad Centro urbano IVU.

| Estaciones | Estacion 1 | | Estacion 2 | | Estacion 3 | | Estacion 4 | | Estacion 5 | |
|-------------------|--------------|----------|--------------|----------|-------------|----------|-------------|------------|--------------|------------|
| | (Qi*Fi) | C/n | (Qi*Fi) | C/n | (Qi*Fi) | C/n | (Qi*Fi) | C/n | (Qi*Fi) | C/n |
| Lecanora sp | 7.5 | 0.63 | 2.5 | 0.37 | 1.5 | 0.07 | 0 | 0 | 3.75 | 0.875 |
| Lichinella sp | 1.5 | 0.06 | 2.5 | 0.26 | 3 | 0.37 | 2.5 | 0.69 | 0 | 0 |
| Xanthoria sp | 4 | 0.31 | 0 | 0 | 4 | 0.37 | 0 | 0 | 3.33 | 0.625 |
| Xanthoparmelia sp | 1.5 | 0.06 | 0 | 0 | 3 | 0.37 | 1.25 | 0.14 | 1.25 | 0.125 |
| Parmelia sp | 3 | 0.31 | 2.5 | 0.26 | 0 | 0 | 1.25 | 0.14 | 2.5 | 0.625 |
| Caloplaca sp | 2.4 | 0.31 | 3 | 0.79 | 2.4 | 0.37 | 2 | 0.69 | 1 | 0.125 |
| Catillaria sp | 0 | 0 | 1 | 0.05 | 2.4 | 0.37 | 1 | 0.69 | 1 | 0.125 |
| Collema sp | 4 | 0.31 | 3.33 | 0.26 | 2 | 0.07 | 1.67 | 0.14 | 0 | 0 |
| Totales | 23.9 | 2 | 14.83 | 2 | 18.3 | 2 | 9.67 | 2.5 | 12.83 | 2.5 |
| IPA | 11.95 | | 7.41 | | 9.15 | | 3.86 | | 5.13 | |