

# Empleo de bioindicadores para determinar la calidad del aire en la ciudad de Tarija en puntos de muestreo de red MoniCA

## *Use of bioindicators to determine air quality in Tarija city in sampling points of MoniCA network*

Oscar Javier Oller Cruz

Universidad Católica Boliviana “San Pablo” Calle Colón entre calle Bolívar e Ingavi, Tarija, Bolivia.

oscarjoller@gmail.com

**Resumen:** La posibilidad de emplear biomonitoreo activo con *Vicia faba*, *Raphanus sativus* y biomonitoreo pasivo por medio de cartografía de líquenes dentro de la ciudad de Tarija no se ha considerado hasta la fecha. Este tipo de monitoreo se han realizado en otras ciudades de Bolivia; pero con condiciones climatológicas y geográficas diferentes, por lo que no se conoce su viabilidad en territorio tarijeño. Este tipo de estudio se considera una alternativa económica y fácil de emplear en relación a los procesos de monitoreo tradicionales, por lo que podrían establecerse como estudios previos de calidad del aire en ciudades más pequeñas dentro del departamento. Siendo un estudio subjetivo y al estar sujeto a variables externas, se ha decidido realizar una comparación con datos reales registrados por la Red de Monitoreo de Calidad de Aire (Red MoniCA).

**Palabras Clave:** Bioindicadores, Calidad del Aire, Tarija.

**Abstract:** The possibility of using active bio monitoring with *Vicia faba*, *Raphanus sativus* and passive bio monitoring through mapping lichen in the city of Tarija has not been considered to this date. This type of monitoring is carried out in other cities of Bolivia; but with different climatic and geographical conditions, so its feasibility in Tarija's territory is unknown. These type of studies are considered an economic alternative with an easy application compared to traditional monitoring process, which could be established as a preliminary study for air quality in smaller cities within the department. Being a subjective study and to be subject to external variables, it has been decided to carry out a comparison with recorded data by the Air Quality Monitoring Network (MoniCA Network).

**Keywords:** Bioindicator, Air Quality, Tarija.

## 1 Introducción

Toda actividad humana es susceptible de generar contaminación al medio ambiente, es por eso que las ciudades son focos importantes de generación de

impactos ambientales; la emisión de gases nocivos para la salud y el medio ambiente, son resultado de estas actividades, especialmente del tráfico vehicular e industrias. Estos impactos pueden ser estudiados mediante el empleo de métodos establecidos a nivel internacional por su fiabilidad y por medio de bioindicadores, de manera que permitan conocer los efectos sobre seres vivos. Los seres vivos se ven afectados si la concentración de algún contaminante incrementa desmesuradamente en su entorno; sin embargo, existen ciertos individuos que al exponerlos incluso a concentraciones bajas de ciertos contaminantes estos sufren alteraciones en su desarrollo o desaparecen de la zona debido a su incapacidad de adaptarse ecológica o genéticamente a las nuevas condiciones [1]. Estos seres vivos son los denominados bioindicadores y su empleo constituye un método que reporta grandes ventajas, como ser costo reducido, fácil acceso a los materiales a emplearse y reconocido a nivel internacional.

El presente trabajo realizado en la ciudad de Tarija, pretende demostrar el empleo de bioindicadores como herramienta fundamental para estudios iniciales de la contaminación atmosférica, ya sea en núcleos urbanos e industriales o en comunidades alejadas donde se lleven a cabo alguna actividad contaminante; realizando un estudio comparativo entre datos obtenidos por métodos físico - químicos empleados por la Red MoniCA y los efectos apreciables en *Vicia faba*, *Raphanus sativus* y comunidades de líquenes.

## 2 Planteamiento del problema

Las alteraciones de la calidad medioambiental se pueden comprobar observando las alteraciones que sufren individuos especialmente sensibles a la presencia de ciertos contaminantes. Este tipo de estudio se ha realizado a nivel mundial con resultados apreciables; pero son pocos los realizados en territorio boliviano, específicamente en la ciudad de La Paz y El Alto [2] [3] [4].

La calidad del aire de la ciudad de Tarija es considerada buena, de acuerdo a metodologías tradicionales de monitoreo; pero estos estudios sólo se pueden realizar en la capital del departamento y con inversiones económicas importantes, por lo que no se han aplicado a otros centros urbanos dentro del departamento. Tomando en consideración este aspecto nace la cuestión si es posible emplear un método alternativo de monitoreo que sea aplicable en estas comunidades. Para tal caso se tendría que analizar la viabilidad de los bioindicadores empleados en las ciudades del norte de Bolivia en territorio tarijeño, debido a que las condiciones geográficas y meteorológicas son claramente distintas. Es por eso que se aplica el biomonitoreo activo y pasivo en puntos de interés de Red MoniCA dentro de la ciudad de Tarija, para así estudiar el efecto que estas nuevas condiciones tengan en los especímenes y compararlos con una base de datos real.

### 3 Objetivo

Demostrar la aplicabilidad de bioindicadores como una metodología de estudio de la calidad del aire en el departamento de Tarija, y en base a los resultados obtenidos determinar el grado de calidad del aire en la ciudad con respecto a los datos registrados por Red MoniCA.

### 4 Sustento teórico

El estudio de las reacciones de seres vivos a cambios en su entorno, bien podría remontarse hasta la época de Aristóteles, quien observó la reacción de un pez de agua dulce al introducirlo en aguas saladas. Desde épocas antiguas ha existido un entendimiento rudimentario que vincula a los seres vivos con respecto a cambios climáticos, especialmente cuando se trataba de cultivos. De acuerdo al desarrollo de alguna especie o la falta de la misma se podía estimar que el clima ese año podría ser beneficioso o perjudicial para las comunidades [5]. Aun así, para esa época, todos estos conocimientos empíricos no podían probar la relación de los seres vivos con su entorno, más allá de observaciones aisladas.

Con el paso de tiempo y el desarrollo de metodologías científicas, se han ido realizando estudios donde se exponen a ciertos seres vivos a concentraciones de contaminantes y registrando la respuesta de los mismos. En 1968 se realiza la conferencia científica “*Air Pollution Proceedings of the first European Congress on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals*” donde se llega a un consenso sobre los efectos de los contaminantes atmosféricos sobre diferentes tipos de plantas vasculares, no vasculares y en animales; la posibilidad de medir la contaminación por medio de plantas y la resistencia de las mismas a determinados elementos contaminantes [6]. A partir de este momento, los estudios con bioindicadores se volvieron cada vez más importantes, llegando a ser un pilar en la gestión de la calidad del aire, y su empleo se extendió a diferentes países [1] [7] [8] [9] [10]. Dentro del territorio boliviano se han empleado métodos de biomonitoreo pasivo y activo en la ciudad de La Paz y El Alto, los cuales fueron fundamentales para poder realizar el presente trabajo [2] [3] [11].

Se ha decidido trabajar con rábano (*Raphanus sativus*) y haba (*Vicia faba*) debido a los diversos estudios que se han efectuado en los mismos y la variada documentación sobre sus reacciones. De forma similar los líquenes han sido empleados en numerosos estudios como base para determinar situaciones de estrés ambiental [12]; sin embargo, no se tiene información detallada de las especies que podrían estar presentes en la ciudad de Tarija a pesar de que se cuente con un amplio registro a nivel nacional [13] [14].

## 5 Metodología

El presente trabajo es una investigación experimental realizada en la ciudad de Tarija empleando los bioindicadores *Vicia faba*, *Raphanus sativus* y líquenes presentes en los árboles de *Melia azedarachi*. Se llevó a cabo durante un período de tiempo corto de dos meses, donde se planificó las actividades a realizar para poder describir de manera específica los efectos de la contaminación atmosférica en dichos bioindicadores a medida que estas alteraciones se presentaban durante la fase de exposición. Para poder realizar una comparación de los resultados obtenidos en base a datos reales se ha trabajado con información proveniente de registros de Red MoniCA y trabajos de investigación similares realizados en Bolivia.

### 5.1 Biomonitorio Activo con Rábano (*Raphanus sativus*) y Haba (*Vicia faba*)

Se trabajó con semillas certificadas por INIAF para asegurar la uniformidad de los resultados. La siembra se realizó al mismo tiempo en un lote alejado de la ciudad para asegurar que no se tenga una exposición accidental antes de tiempo. El cultivo se realizó en macetas de plástico con una sogá incrustada en la base para asegurar una constante humedad. Las macetas fueron ubicadas sobre baldes plásticos con agua para asegurar una humedad constante, una vez que todos los individuos germinaron se procedió a la exposición [11]. El conjunto maceta y balde fueron ubicados en los siete puntos de interés que utilizó la Red MoniCA en la ciudad de Tarija como puntos estratégicos para elaborar el Monitoreo Pasivo de Ozono y Dióxido de Nitrógeno.

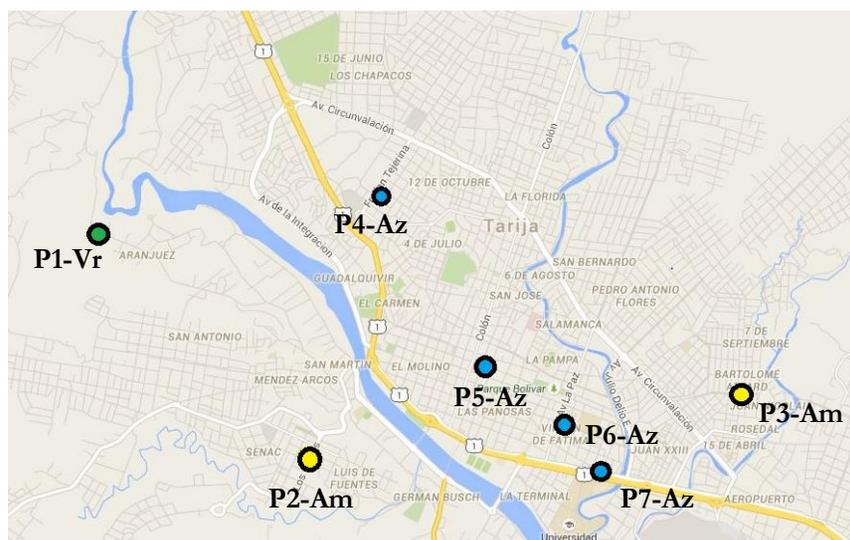


Figura 1: Distribución de los Puntos de Monitoreo Pasivo de Red MoniCA en la ciudad de Tarija.



Una vez concluida la etapa de exposición se retiraron los individuos de las macetas y se procedió a analizar cada uno de ellos, en base a la bibliografía consultada se procedió a buscar similitudes con respecto a alteraciones que *Vicia faba* y *Raphanus sativus* presentan debido a la presencia de contaminantes atmosféricos, como ser el tamaño del rábano, el peso húmedo de las plantas y deformidades en hojas y tallos.

## 5.2 Biomonitorio Pasivo por Cartografía de Líquenes

Se definió una especie de árbol en concreto que se encontrara distribuido por toda la ciudad y presentara mayor predisposición al desarrollo de líquenes, tal fue el caso del árbol Paraíso (*Melia azedarach*). Se clasificaron los individuos de acuerdo a ciertas características que debían poseer: tronco ancho, no presentar una inclinación mayor a 10 grados, poseer un tronco único hasta por lo menos los dos metros de altura y no estar apoyados contra edificaciones u otros árboles ni haber sufrido alteraciones graves por parte de actividades humanas. De no cumplir estas condiciones los árboles fueron descartados [15]. Para el presente estudio se seleccionaron setenta árboles de *Melia azedarach*, diez para cada uno de los siete puntos de control de la Red MoniCA.

El material con el que se trabajó fue una grilla metálica con diez cuadrantes de 10x10 cm, una brújula, soga para sujetar la grilla a los troncos y planillas de seguimiento [2]. El objetivo era realizar un registro de todas las especies que estuvieran presentes en cada uno de los cuadrantes, al momento del estudio se identificó cada posible especie en base a sus características (color, forma, etc.) y se tomó muestras de las mismas para ser identificadas por expertos. Para cada individuo se instaló la grilla cuatro veces de acuerdo a los puntos cardinales.

## 5.3 Determinación del Índice de Pureza Atmosférica (IPA)

Para calcular el IPA, el índice liquénico más utilizado, se examinan una serie de árboles en los lugares de interés. Se identifican todas las especies presentes en cada árbol y a cada una se le asigna valores Q y F, y se emplea la siguiente fórmula [16]:

$$IPA_j = \frac{1}{10} \sum (Q_i \times F_i)$$

Donde:

**IPA<sub>j</sub>** = Índice de Pureza Atmosférica de la estación j.

**Q<sub>i</sub>** = Denominado Cortejo medio específico, calculado haciendo la media del número de especies que acompañan a la que se está considerando en las estaciones en las que la especie ha aparecido.

**Fi** = Valor de la frecuencia-cobertura. Se calcula de forma variada, siendo bastante subjetivo por parte de la persona que realiza el estudio. En su origen F toma valores del 1 al 5. Sin embargo, se puede obtener por su frecuencia según:

$$F = \frac{(Rm + P)}{2}$$

Donde:

**Rm** = Recubrimiento medio o relación entre el recubrimiento total (Rt = suma de los recubrimientos de la especie en cada árbol de la estación) y el número de árboles muestreados en cada estación. El valor de recubrimiento varía de 1 a 5 según la siguiente escala: **1 = <10%** de la superficie del árbol; **2 = 11-20%**; **3 = 21 - 35%**; **4 = 36% - 50%**; **5 = >50%**

**P** = Presencia media del líquen o relación entre el número de árboles de la estación en que se ha encontrado la especie y el número total de árboles muestreados. El valor máximo será 1.

Una vez obtenidos los valores de IAP, se empleará un cálculo sobre la base de la relación entre el IAP Máximo Teórico sobre el IAP Máximo Observado, para establecer rangos de IAP que permitan la zonificación del área de estudio en función a diferentes posibles niveles de contaminación existente. [2] La fórmula a emplear será:

$$IPA_{MÁX-teórico} = S^2 - S$$

Donde:

**S** = Número total de especies de líquenes estudiadas

$$Cociente\ de\ Relación = \frac{IPA_{MÁX-teórico}}{IPA_{MÁX-observado}}$$

Para determinar la frecuencia de cada una de las especies de líquenes epífitos se contará el número de cuadrantes en los que aparece al menos una vez, y este valor será su frecuencia. Los valores de frecuencia pueden oscilar desde 0 a 10 (0 si la especie de la lista no se encuentra representada en el área de interés y 10 si se encuentra representada en los 10 cuadrantes).

## 6 Resultados

Realizada la recolección y análisis de cada uno de los individuos, se procedió a comparar cada una de las plantas de rábano en su grupo de exposición y luego se comparó entre los distintos puntos de exposición. Se pudo apreciar que *Raphanus sativus* fue la especie que presentó mayor alteración en su desarrollo con respecto al tamaño del rábano y sus hojas, en puntos donde existía un tráfico vehicular

importante. De igual manera en *Vicia faba* se observa una diferencia en el peso húmedo de las plantas y la cantidad de hojas de acuerdo a las zonas donde se realizó la exposición.

Tabla 3. Desarrollo comparativo de *Raphanus sativus* según su punto de exposición.

Punto	Hojas	Desarrollo del Rábano
P1-Vr	Presenta la mayor cantidad de hojas, sanas y con un desarrollo rápido.	Todos se han desarrollado, muy buen peso en relación a otros puntos.
P2-Am	Cantidad promedio en relación al máximo y mínimo. Desarrollo rápido.	1 individuo no se ha desarrollado como los otros, pesos buenos.
P3-Am	Cantidad promedio en relación al máximo y mínimo. Desarrollo lento.	3 individuos se han desarrollado de forma regular, pesos regulares.
P4-Az	Menor cantidad en relación a los otros puntos. Desarrollo lento.	2 individuos con desarrollo deficiente, pesos malos.
P5-Az	Cantidad promedio en relación al máximo y mínimo. Desarrollo lento.	1 individuo con desarrollo deficiente, pesos regulares.
P6-Az	Cantidad de hojas promedio en relación al máximo y mínimo. Desarrollo lento.	1 individuo con desarrollo deficiente, 2 con desarrollo regular, pesos regulares.
P7-Az	Cantidad de hojas promedio en relación al máximo y mínimo. Desarrollo rápido.	2 individuos con desarrollo deficiente, pesos regulares.

Tabla 4. Desarrollo comparativo de *Vicia faba* según su punto de exposición.

Punto	Hojas	Desarrollo del Individuo
P1-Vr	Presenta la mayor cantidad de hojas, sanas y con un desarrollo rápido.	Los pesos húmedos individuales de cada planta son los más elevados. Tallos sanos y gruesos. Ninguna mancha.
P2-Am	Cantidad promedio en relación al máximo y mínimo. Desarrollo rápido.	Pesos húmedos individuales buenos en relación a otros puntos. Tallos gruesos, escasas manchas oscuras.
P3-Am	Cantidad más baja de hojas en relación a los otros puntos. Irregularidades en varias hojas.	Pesos húmedos individuales muy bajos, tallos muy delgados.
P4-Az	Cantidad promedio. Desarrollo regular. Manchas amarillentas.	Pesos húmedos regulares, presencia de manchas oscuras. Grosor regular.

P5-Az	Buena cantidad de hojas. Desarrollo bueno, ciertas irregularidades.	Pesos húmedos regulares, bastantes manchas oscuras en los tallos. Grosor regular.
P6-Az	Cantidad promedio. Desarrollo regular. Manchas amarillentas.	Pesos húmedos regulares, bastantes manchas oscuras en los tallos. Grosor regular.
P7-Az	Cantidad de hojas elevadas. Presentan ciertas irregularidades en su contorno. Manchas amarillentas en ciertas hojas.	Pesos húmedos regulares, bastantes manchas oscuras en los tallos. Grosor bueno.

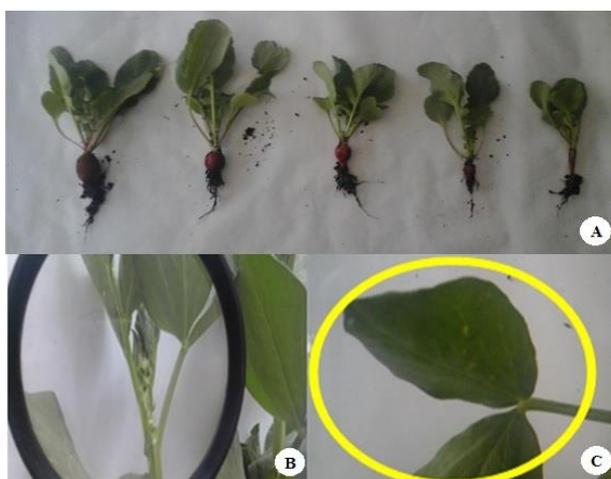


Figura 2: Imágenes de las variaciones en el desarrollo de los bioindicadores y sus alteraciones.

**A.** *Raphanus sativus* en el punto **P7-Az**. Al comparar el desarrollo de cada rábano según su zona de exposición se observa que dos individuos no se han desarrollado al mismo grado que los otros. **B.** *Vicia faba* presenta manchas en su tallo durante el período de exposición. **C.** Se aprecia la aparición de decoloraciones en hojas de *Vicia faba* e irregularidades en el contorno de algunas hojas.

Con respecto al biomonitoreo pasivo se pudo apreciar la presencia de líquenes en diversas partes de la ciudad, especialmente en zonas verdes. Así también en zonas donde el alto tráfico vehicular ha sido una constante durante varios años, la diversidad de especies y su frecuencia de aparición han disminuido.

Por medio de registro fotográfico y ejemplares enviados a un experto en líquenes de la ciudad de La Paz, se pudo determinar la presencia de cinco variedades de líquenes en los árboles muestra. Estas especies se detallan a continuación:

- *Hyperphyscia syncolla*: Presenta talo folioso a crustáceo, de coloración gris verdusco a pardo, lóbulos pequeños, sin cilios; superficie inferior sin rizinas. Apotecios lecanorinos, con disco pardo a negro.
- *Xanthoria parietina*: Liquen crustáceo, de color amarillo anaranjado a rojo, formado por lóbulos de tamaño desigual, entre 1 y 5 mm de ancho, cubiertos de apotecios naranjas. Talo de forma irregular, de 10 cm de diámetro o más.
- *Physcia pachyphylla*: Pertenece a la familia de las *Physcias*, una de las familias con mayor cantidad de especies registradas.
- *Candelaria concolor*: Talo folioso de hasta 1 cm de ancho, suele formar extensas colonias, de color amarillo a verde
- *Physcia undulata*: Pertenece a la familia de las *Physcias*.

## 7 Análisis y Discusión

### 7.1 Análisis Comparativo

Para poder tener una base comparativa se han solicitado los registros históricos de monitoreo pasivo efectuados por la Red MoniCA de la ciudad de Tarija y se trabajó en base a las concentraciones de gases de dióxido de nitrógeno y ozono. A la fecha de realización del presente estudio eran los únicos datos recopilados de dominio público en la ciudad respecto a gases contaminantes.

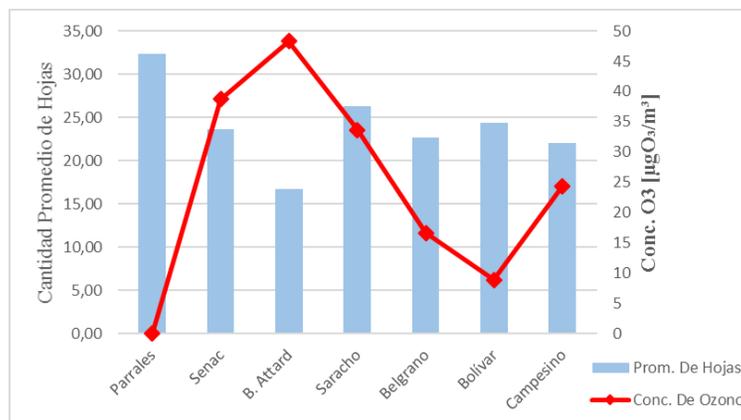


Figura 3: Relación desarrollo de hojas de *Vicia faba* respecto a concentración de ozono.

La mayor cantidad de hojas sanas y desarrollo de *Vicia faba* corresponden al punto donde se tiene menor concentración de Ozono. De la misma manera se tiene que el punto con mayor concentración de este gas, equivale al punto con menor

cantidad de hojas sanas. En los otros puntos se tuvo variación con respecto a los registros de la Red MoniCA; pero un buen desarrollo de las plantas correspondía a los lugares con calles anchas, incluso si el flujo vehicular era elevado.

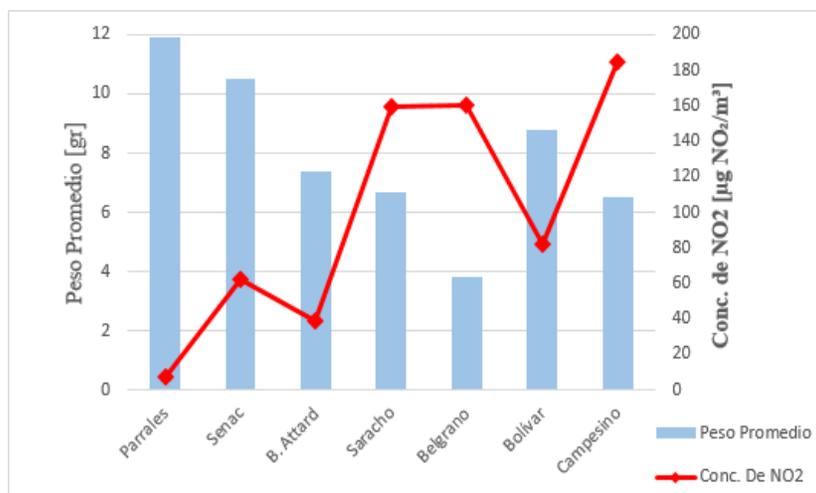


Figura 4: Relación peso húmedo de *Raphanus sativus* respecto a concentración de dióxido de nitrógeno.

Al pesar toda la planta y cada una de ellas se ha podido evidenciar que el mayor crecimiento de *Raphanus sativus* en todos sus individuos se ha obtenido en el punto con menor concentración de NO<sub>2</sub>. Curiosamente el punto con mayor concentración registrada por la Red MoniCA no corresponde al punto de menor crecimiento de esta especie. Sin embargo, en zonas consideradas altamente contaminadas se aprecia una mayor variedad en el desarrollo de los individuos, teniendo entre especímenes que han crecido adecuadamente y otros muy poco desarrollados.

Debido a la falta de estudios y análisis con respecto a la calidad del aire por parte de otras instituciones, donde se analice la presencia de otros gases, cabe la posibilidad que gases como óxidos de azufre y carbono, sumados a la acción del ozono y dióxido de nitrógeno, hayan afectado el desarrollo de *Raphanus sativus* y *Vicia faba*. Así también las condiciones de los puntos de muestreo pueden haber sufrido modificaciones considerables desde el periodo cuando se realizó el monitoreo por parte de Red MoniCA hasta el inicio del presente trabajo de investigación.

## 7.2 Cartografía de Líquenes

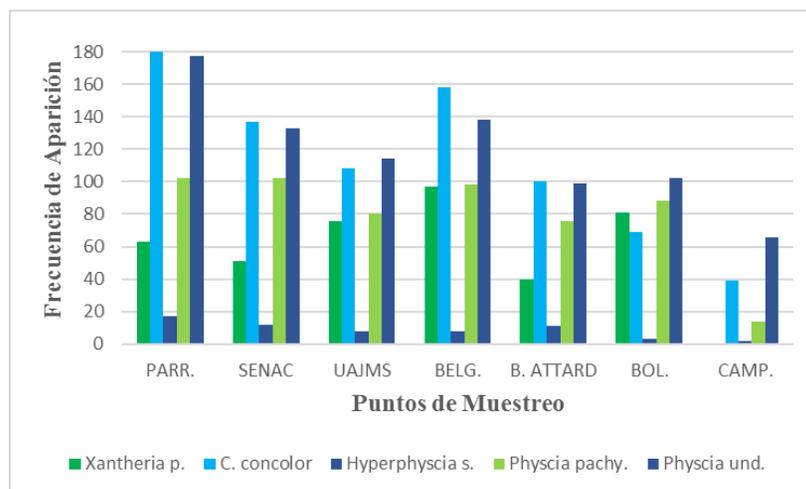


Figura 5: Frecuencia de aparición en los cuadrantes por punto de muestreo.

Se observa que la frecuencia de aparición por cuadrante y la diversidad de especies dependen de las características de la zona donde se realiza el biomonitoreo. En la zona del Mercado Campesino considerada de gran movimiento comercial y clasificada como de Alto Flujo Vehicular según Red MoniCA se detectó una menor probabilidad de encontrar líquenes, mientras que en la zona de la Universidad Juan Misael Saracho donde se tiene un Flujo Vehicular Alto, pero avenidas amplias con áreas verdes se tiene una mayor diversidad de especies.

## 7.3 Índice de Pureza Atmosférica

Una vez realizados los cálculos correspondientes se obtuvieron valores de IPA para cada uno de los siete puntos de interés. De acuerdo a los mismos se tiene que el máximo valor alcanzado corresponde al Punto Parrales (12,85), coincidentemente el punto con contaminación más baja según clasificación de la Red MoniCA. El valor más bajo corresponde al Punto Campesino (7,05), considerado con contaminación alta.

Una vez calculados los valores de IPA se procedió a establecer los rangos de contaminación, donde se tiene como resultado una clasificación de “contaminación media” para el punto más bajo y “sin contaminación” para el máximo. De acuerdo a estos valores se puede establecer que la calidad del aire en la ciudad de Tarija es relativamente buena.

Tabla 5. Índice de Pureza Atmosférica según la zona de biomonitoreo.

ZONA	IPA	CLASIFICACIÓN DE LA ZONA POR PARTE DE LA RED MONICA
PARRALES/AVENIDA	12,85	Flujo Vehicular Bajo
SENAC	11,5	Flujo Vehicular Medio
BARTOLOMÉ ATTARD	8,98	Flujo Vehicular Medio
BELGRANO	10,78	Flujo Vehicular Alto
BOLIVAR	10,4	Flujo Vehicular Alto
UAJMS	10,73	Flujo Vehicular Alto
CAMPESINO	7,05	Flujo Vehicular Alto

Tabla 6. Rangos de Contaminación según IPA.

RANGOS		CLASIFICACIÓN
3,51 - 5,06	I	Contaminación muy alta
5,07 - 6,61	II	Contaminación alta
6,62 - 8,17	III	Contaminación media
8,18 - 9,73	IV	Contaminación baja
9,74 - 11,28	V	Contaminación muy baja
11,29 - 12,85	VI	Sin contaminación

## 8 Conclusiones

Se ha confirmado que el biomonitoreo activo es viable para la ciudad de Tarija, debido a que las especies elegidas han presentado decoloraciones y alteraciones en su biomasa al estar expuestas a diferentes grados de contaminación atmosférica. El biomonitoreo pasivo de igual manera es aplicable ya que se ha demostrado que zonas con contaminación vehicular permanente presentan una notable disminución en la diversidad y probabilidad de presencia de líquenes.

La presencia de otros gases que no son considerados por la Red MoniCA puede haber contribuido a los efectos en el desarrollo de los bioindicadores. Lamentablemente no se tienen estudios más completos respecto a gases contaminantes como para poder reevaluar los resultados y analizar que otros gases podrían estar afectando a la ciudad de Tarija.

La calidad del aire en la ciudad de Tarija, de acuerdo a métodos de monitoreo tradicional, se considera BUENA; con zonas donde la calidad desciende hasta ser considerada REGULAR. Los cálculos empleados en el presente estudio determinan que efectivamente la calidad de aire es relativamente buena, especialmente en zonas

con áreas verdes y calles espaciosas; pero en zonas donde el tráfico vehicular ha sido constante por varias décadas se tiene un grado de contaminación media.

### Referencias Bibliográficas

- [1] L. García y L. Rubiano, 'Comunidades de líquenes como indicadores de niveles de calidad del aire en Colombia', Medellín, 1984.
- [2] A. Canseco, R. Anze y M. Franken, Comunidades de Liquenes: Indicadores de la Calidad del Aire en la ciudad de La Paz, Bolivia, La Paz, 2006.
- [3] Anze, Margot, Pinto, Zeballos, Cuadros, Zaballa, Canseco, D. I. Rocha, Estellano y D. Granado, «Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia,» *Revista Virtual REDESMA*, 2007.
- [4] N. Gonzales Vargas, M. Luján Pérez, G. Navarro Sanchez y R. Flores Mercado, «Aplicabilidad de líquenes bioindicadores como herramienta de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Cochabamba» *Acta Nova*, Cochabamba, 2016.
- [5] P. B. S. Chayña, "Señas ancestrales como indicadores biológicos de alerta temprana", Perú, 2009.
- [6] European Congress on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals, «Air pollution : proceedings of the first European Congress on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals, Wageningen, April 22 to 27, 1968.» Pudoc, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Países Bajos, 1968.
- [7] V. H. M. Estrada, 'El Uso de líquenes como biomonitores para evaluar el estado de la contaminación atmosférica a nivel Mundial', 2011.
- [8] S. V. S. Briones, "Caracterización de la contaminación atmosférica en seis parques recreacionales del distrito metropolitano de quito mediante el uso de bioindicadores", Ecuador, 2013.
- [9] A. B. Fernandez-Salegui, T. A. Arsenio y E. Barreno, "Bioindicadores de la calidad del aire en La Robla (León, noreste de España) diez años después", España, 2006.
- [10] M. A. Glez y L. G. Galvan, 'Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de técnicas alternativas de biomonitoreo y precipitaciones acidas'.
- [11] G. Zeballos, M. Z. Romero, A. d. I. Rocha, M. Cuadros, S. D. Granado, R. Anze y M. Franken, '*Estandarización de métodos de cultivos y exposición para estudios de biomonitoreo*', La Paz, 2006.

- 
- [12] G. Sanders, N. Turnbull, A. Clarck y J. Colls, 'The growth and development of *Viciafaba* L. in filtered and unfiltered open-top chambers', Nottingham, 1990.
- [13] A. Flakus, 'Contribution To The Knowledge Of The Lichen Biota Of Bolivia', 2008.
- [14] Lichens and Lichenicolous Fungi of Bolivia, «Lichens in Bolivia,» 10 04 2015. [En línea]. Available: <http://bio.botany.pl/lichens-bolivia/>.
- [15] J. Asta, W. Erhardt, F. Ferretti y U. Fornasier, Mapping Lichen Diversity as an Indicator of Environmental Quality, Italia: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [16] A. Carbelleria, R. Retuerto, Á. Fernández y J. Aboal, «'Biomonitorización de la Calidad del Aire',» de *Clima y Calidad Ambiental VI Reunión Nacional de Climatología*, España, 2000.