

Evaluación del cultivo estandarizado de *Raphanus sativus* cv. Cherry Belle (rabanito) para evidenciar su efectividad como bioindicador de la contaminación atmosférica en la ciudad de Sucre

Evaluation of the standardized cultivation of *Raphanus sativus* cv. Cherry Belle (radish) to demonstrate its effectiveness as a bioindicator of air pollution in the city of Sucre

CRUZ – Maria ^{1*} & ZABALLA– Mauricio²

^{1,2} *Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Carrera de Ingeniería Ambiental*

Recibido diciembre, 2023; Aceptado diciembre, 2024

Resumen

La contaminación atmosférica en la ciudad de Sucre, es una preocupación creciente debido al incremento del tráfico vehicular y las diferentes actividades. Este estudio evaluó la calidad del aire usando el rábanito (*Raphanus sativus* cv. Cherry Belle) como bioindicador, por su sensibilidad a los contaminantes, reflejados en su peso, brillo foliar y necrosis. Se siguió un protocolo riguroso desde la preparación del sustrato hasta la exposición de las plantas en puntos de biomonitorio. La metodología se validó comparando métodos físico-químicos, químicos de la Red MoniCA con el uso del bioindicador (rabanito).

En cuanto al análisis estadístico no paramétricos, el test de Kruskal-Wallis y la correlación de Spearman confirmaron la efectividad del rábano como bioindicador, complementando los métodos tradicionales. Las evaluaciones mostraron que el rábanito detecta cambios en la calidad del aire, reflejando una relación entre su salud y los niveles de contaminantes. En áreas de alto tráfico, las plantas mostraron mayor estrés, mientras que en áreas de bajo tráfico, el crecimiento fue más uniforme. El análisis de Componentes Principales (PCA) indicó que el dióxido de nitrógeno y el ozono troposférico influyen diferentes aspectos del crecimiento del rábano. Los hallazgos subrayan los efectos de los contaminantes del aire en Sucre.

Palabras Clave

Biomonitorio, alto tráfico vehicular, bajo tráfico vehicular, Sucre

Abstract

This study addresses the growing concern of atmospheric pollution in the city of Sucre, driven by increased vehicular traffic and various urban activities. Air quality was evaluated using radish (*Raphanus sativus* cv. Cherry Belle) as a bioindicator due to its sensitivity to pollutants, which was reflected in parameters such as biomass, leaf glossiness, and necrosis. A rigorous protocol was followed, from substrate preparation to plant exposure at biomonitoring sites. The methodology was validated by comparing traditional physicochemical methods from the MoniCA Air Quality Network with the bioindicator approach.

Non-parametric statistical analyses, including the Kruskal-Wallis test and Spearman correlation, confirmed the effectiveness of radish as a bioindicator, complementing conventional monitoring techniques. Results demonstrated that radish plants effectively detect variations in air quality, showing a clear relationship between plant health and pollutant concentrations. Plants exposed in high-traffic areas exhibited greater stress symptoms, whereas those in low-traffic zones showed more uniform growth. Principal Component Analysis (PCA) revealed that nitrogen dioxide and tropospheric ozone differentially influenced radish growth parameters. These findings underscore the impact of air pollutants in Sucre and highlight the utility of radish as a cost-effective, sensitive bioindicator for urban air quality assessment.

Keywords:

Key words: *Raphanus sativus* cv. Cherry Belle, biomonitoring, high vehicular traffic, low vehicular traffic, Sucre.

Citación: Cruz M. Evaluación del cultivo estandarizado de *Raphanus sativus* cv. Cherry Belle (rabanito) para evidenciar su efectividad como bioindicador de la contaminación atmosférica en la ciudad de Sucre

Revista Ingeniería Sostenible Ambiental 2024,1(2),51-114

Introducción

Sucre, la capital constitucional de Bolivia, se enfrenta un problema de contaminación atmosférica derivado principalmente al significativo incremento del parque automotor y otras actividades urbanas en las últimas décadas. Aunque la Red MoniCA realiza un monitoreo continuo de la calidad del aire en puntos estratégicos de la ciudad, el rápido crecimiento urbano ha generado nuevas áreas de alto tráfico vehicular que carecen de una adecuada cobertura de monitoreo ambiental.

En respuesta a esta problemática, se propone el uso de bioindicadores como *Raphanus sativus* cv. Cherry Belle (rabanito), es reconocida por su sensibilidad a diversos contaminantes atmosféricos como el ozono y el dióxido de azufre. La elección de este bioindicador se fundamenta en su capacidad para reflejar los efectos de la contaminación a través de cambios morfológicos y fisiológicos detectables, los cuales pueden servir como indicadores tempranos de la calidad del aire en ambientes urbanos. Este enfoque no solo busca complementar el monitoreo convencional realizado por la Red MoniCA, sino también proporcionar una herramienta efectiva y económica para evaluar la contaminación atmosférica en áreas específicas de Sucre donde el monitoreo tradicional puede ser limitado o insuficiente.

La investigación tiene como objetivo principal estandarizar el cultivo de *Raphanus sativus* en condiciones locales y validar su eficacia como bioindicador (rabanito) mediante la comparación con métodos tradicionales (físico-químicos, químicos) de medición de contaminantes. Se plantea la hipótesis de que las plantas de rábano cultivadas en áreas con alto y bajo tráfico vehicular exhibirán diferencias morfológicas significativas, las cuales estarán directamente relacionadas con la cantidad y tipo de contaminantes presentes en el ambiente.

Estos cambios morfológicos podrían incluir desde el peso, la reducción del tamaño del hipocotilo y las hojas hasta la aparición de brillo foliar y necrosis foliar, dependiendo de la intensidad y duración de la exposición a los contaminantes.

Además de contribuir al conocimiento científico sobre la calidad del aire en Sucre, este estudio pretende ofrecer información relevante para la gestión ambiental local, proporcionando datos específicos sobre la distribución espacial y temporal de la contaminación atmosférica en la ciudad

Materiales y métodos

a) Materiales

Semillas: “*Raphanus sativus* L., también conocida como rábano, rabanito, nabón, pertenece a la familia Brassicaceae., la variedad más utilizada para estudios sobre la respuesta de estrés ambiental es decir efectos de los diferentes contaminantes atmosféricos y sus diferentes combinaciones es *Raphanus sativus* L. cv. Cherry Belle. Sus semillas son obovales y poco comprimidas de 3,5 a 4 mm de largo por unos 2,5 mm de ancho y 2 mm de espesor, con tegumento castaño claro, finamente reticulado. Su raíz es cónica o engrosada”. (UMSA, Bioindicación de la calidad de aire).

Preparación de macetas: Para la elaboración de las macetas se utilizaron:

- 35 macetas de un volumen de 1500 ml, con un diámetro de 16 cm
- 35 cuerdas de 1,5 m de largo, 1,5 cm y 1 cm de diámetro

Elaboración de la tierra de cultivo:

Para esta investigación, se utilizó un sustrato estandarizado compuesto por 45% de arena, 22% de tierra negra, 5.5% de bosta de vaca, 5.5% de turba vegetal, 5.5% de cascarilla de arroz, 5.5% de limo, 4.5% de humus y 5% de arcilla. Esta mezcla se preparó dentro del invernadero, libre de plagas, y combina material que mejoran la textura, retención de agua, drenaje, aireación y aporte de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.

Cada componente, como la tierra negra, la cascarilla de arroz, la bosta de vaca, el limo, la arena, el humus, la turba vegetal y la arcilla, cumple funciones específicas que aseguran un sustrato adecuado para el desarrollo saludable de las plántulas.

Siembra de semillas: Se realizó una prueba de germinación previa al cultivo, ya que se obtuvieron semillas con certificación y semillas a granel de la variedad de *Raphanus sativus* L. cv. Cherry Belle.

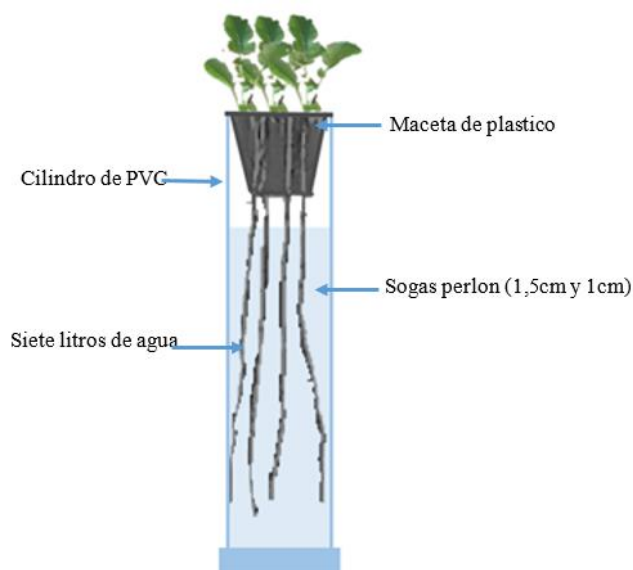
Durante el proceso de germinación se usaron 210 semillas orgánicas certificadas de *Raphanus sativus* L. cv. Cherry Belle.

Crecimiento en invernadero: Se utilizaron 3 bañadores, 3 rejillas de madera para cada exposición, agua con sistemas de riego semiautomático.

Sistemas de riego semiautomático: Se usaron 30 soportes metálicos de los tubos, 10 soportes metálicos de techo y 30 tubos de PVC.

Exposición de *Raphanus sativus*: 10 m² de red de semisombra que genera 80% de sombra para hacer 10 techos, 10 soportes de metal para sujetar el techo y agua.

Figura 1: Esquema de riego semiautomático de las macetas con sogas tipo perlón durante la exposición.



Análisis en laboratorio: Tablas para toma de datos, lápiz, guantes, cámara digital, estilete, papel absorbente, sobres de papel delgado, Balanza ADAM con precisión de 0.001 gr y una estufa para el secado.

b) Métodos

Para el estudio de biomonitordeo, se definieron puntos de control y exposición. El invernadero del INIAF en Sucre, con bajas concentraciones de contaminantes, se seleccionó como punto de control. Los puntos de exposición incluyeron 10 ubicaciones en áreas de alto y bajo tráfico vehicular en Sucre, algunos también utilizados por la Red MoniCA.

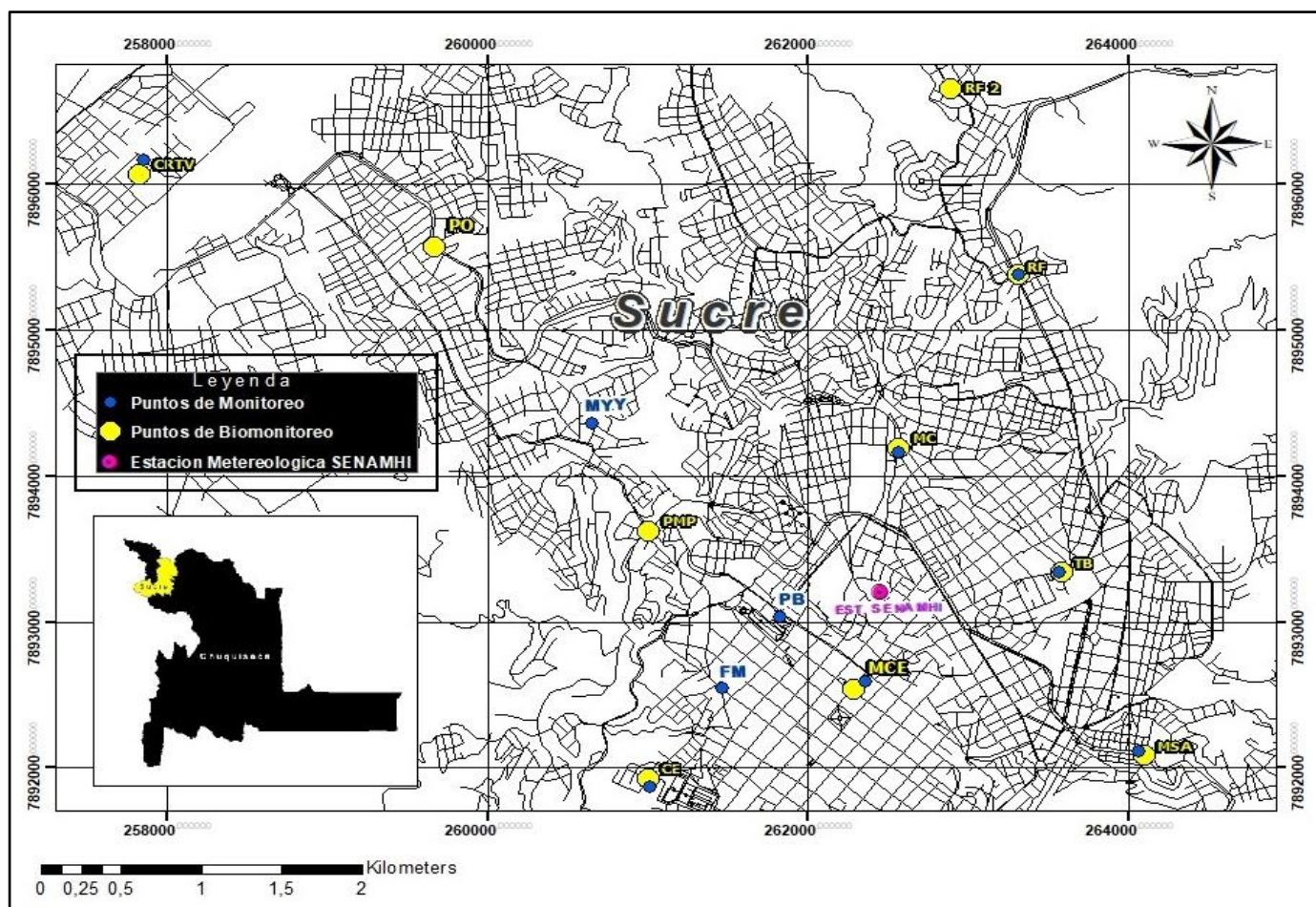
Figura 2: Puntos de biomonitoreo en la ciudad de Sucre.

Tabla 1: Estaciones de biomonitoreo en la ciudad de Sucre

Código	Zona	Ubicación	Parámetros Medidos	Clasificación por tipo de zona	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m)
RF2	Barrio Cessa	Sobre la avenida principal cerca al Centro de Salud	Ninguno	Alto tráfico Vehicular	Latitud	19° 0'32.69" S	2921
PMP	Parque Multipropósito	Calle Colon, balcón de la biblioteca de la Facultad de Medicina	PM ₁₀	Alto tráfico Vehicular	Longitud	65°15'9.00" O	2760
					Latitud	19° 2'10.44" S	
TB	Terminal de Buses	Avenida Ostria Gutiérrez, balcón de la Secretaria Departamental de Medio Ambiente y Madre Tierra	PM ₁₀	Alto tráfico Vehicular	Longitud	65°16'14.77" O	2835
					Latitud	19°02'20.79" S	
RF	Rotonda Fancesa	Rotonda Fancesa poste colindante (E)	NO ₂ y O ₃	Alto tráfico Vehicular	Longitud	65°14'47.10" O	2906
					Latitud	19°01'14.44" S	
MSA	San Antonio	Av. Martin Cárdenas cerca al mercado	NO ₂ y O ₃	Alto tráfico Vehicular	Longitud	65°14'55.16" O	2853
					Latitud	19°02'01.43" S	
MC	Mercado Campesino	Plazuela San Juanillo	NO ₂ y O ₃	Alto tráfico Vehicular	Longitud	65°14'41.22" O	2798
					Latitud	19°01'52.46" S	
MCE	Mercado Central	Plaza San Francisco	NO ₂ y O ₃	Alto tráfico Vehicular	Longitud	65°15'21.21" O	2790
					Latitud	19°02'45.69" S	
CE	Max Toledo (Cementerio)	Plaza posterior del cementerio general	NO ₂ y O ₃	Bajo tráfico Vehicular	Longitud	65°15'30.67" O	2801
					Latitud	19°03'06.06" S	
PO	Piscina Olímpica	Avenida Juana Azurduy cerca a la piscina Olímpica	Ninguno	Alto tráfico Vehicular	Longitud	65°16'15.61" O	2898
					Latitud	19° 1'6.45" S	
CRTV	Centro de Revisión Técnica Vehicular	Barrio Israel Zona Karapunku s/n	NO ₂ y O ₃	Bajo tráfico Vehicular	Longitud	65°16'59.71" O	2915
					Latitud	19°00'48.18" S	

Tabla 1: Estación de control

Código	Zona	Ubicación	Parámetros Medidos	Clasificación por tipo de zona	Coordenadas UTM		Altitud(m)
INV	Ckara punku	Ckara punku s/n	Ninguno	Bajo tráfico Vehicular casi nulo.	Latitud	19° 1'21.68" S	2984
					Longitud	65°17'38.27" O	

Cultivo de *Raphanus sativus* cv. Cherry Belle

El sustrato utilizado fue una mezcla homogénea de arena (45%), tierra negra (22%), bosta de vaca (5.5%), turba vegetal (5.5%), cascarilla de arroz (5.5%), limo (5.5%), humus (4.5%) y arcilla (5%). Esta mezcla mejoró la textura, retención de agua y nutrientes del suelo. Las macetas, perforadas en la base y equipadas con cuerdas de absorción para riego semiautomático, se llenaron con este sustrato.

Determinación de biomasa de rábano

Las plantas de rábano se extrajeron de las macetas, se lavaron y se secaron con papel absorbente. Se separaron hojas e hipocótilo y se pesaron en fresco. Para determinar el peso seco, las muestras se secaron a 80°C durante 48 horas, se colocaron en un desecador por 1 hora y se pesaron nuevamente.

Análisis del daño foliar

Se utilizó el software IMGEJ para determinar el porcentaje de daño foliar (severidad) en las plantas de rábano. Se evaluaron hojas con brillo foliar y necrosis, considerando la escala de la hoja, el área de influencia, el área total y el área sin daño. Este procedimiento permitió calcular el porcentaje de daño foliar en las plántulas.

Procesamiento de datos de la red MoniCA

Se extrajeron datos de la Red MoniCA para calcular el Índice de Calidad del Aire (ICA) según la Norma Boliviana NB 62018. El ICA se interpretó con el código de colores y grados de riesgo para la salud establecidos en la norma.

Análisis estadístico

Se aplicaron tres métodos estadísticos para asegurar un análisis riguroso de los datos:

1. Prueba de Kruskal-Wallis: Determina diferencias significativas entre tres o más grupos independientes, utilizando rangos de datos debido a la falta de normalidad y desigualdad de varianzas.

2. Correlación de Spearman: Evalúa la relación entre dos variables usando rangos, siendo robusta ante valores atípicos y útil para datos no lineales o ordinales.

3. Análisis de Componentes Principales (PCA): Reduce la dimensionalidad de los datos y descubre patrones ocultos, convirtiendo variables correlacionadas en componentes principales no correlacionados, ayudando a visualizar datos multidimensionales y entender la estructura subyacente.

El análisis se realizó en RStudio, seleccionado por su interfaz intuitiva y capacidades analíticas completas. Estos métodos aseguraron un análisis riguroso y adecuado de los datos de biomonitorio y la Red MoniCA, permitiendo evaluaciones precisas sobre la calidad del aire y el estado de las plantas de rábano expuestas.

Resultados

Los efectos de los contaminantes atmosféricos sobre las variables morfológicas del *Raphanus sativus* (rabanito) variaron significativamente entre los diferentes sitios de biomonitorio. Se evaluaron cuatro variables: longitud del hipocótilo, desarrollo foliar, presencia de necrosis y brillo de las hojas.

El análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis indicó diferencias estadísticamente significativas entre los grupos para todas las variables analizadas ($p < 0.05$). Estas diferencias fueron confirmadas mediante la prueba de rangos con signo de Wilcoxon, ajustada con la corrección de Bonferroni. Las correlaciones de Spearman revelaron asociaciones significativas entre los niveles de ozono troposférico (O_3) y dióxido de nitrógeno (NO_2) y las respuestas fisiológicas de las plantas.

Hipocótilo: Se observaron correlaciones significativas entre el ozono troposférico y la longitud del hipocótilo. En los tratamientos CRTV, MCE y PMP, se detectaron correlaciones positivas, mientras que en PMP y PO fueron negativas, lo que sugiere que concentraciones elevadas de O_3 pueden inhibir el desarrollo del hipocótilo.

En los tratamientos CE, MC, MSA, RF y RF2, el ozono no mostró efectos estadísticamente significativos.

Hojas: El desarrollo foliar presentó correlaciones significativas con el NO_2 . En los tratamientos PMP y PO, estas fueron positivas, mientras que en MC y MSA fueron negativas. Estos resultados evidencian una sensibilidad diferencial al NO_2 según el sitio de exposición.

Necrosis: La incidencia de necrosis foliar estuvo significativamente correlacionada con los niveles de O_3 en los tratamientos RF, MC y PO. En MSA, la asociación fue mínima, y en los tratamientos CRTV, CE, MCE, PMP y RF2 no se observó una influencia clara del ozono.

Brillo foliar: El NO_2 mostró correlaciones significativas con la variación en el brillo foliar en CE, CRTV, MC, PMP y RF2. En contraste, en MCE, MSA, PO y RF, no se detectaron efectos estadísticamente significativos.

Análisis de Componentes Principales (PCA) explicó la mayor parte de la variabilidad observada en las respuestas morfológicas. Este análisis evidenció una asociación predominante del ozono con la necrosis y el hipocótilo, mientras que el NO_2 se relacionó principalmente con el desarrollo y brillo foliar. Estas asociaciones permiten inferir rutas diferenciadas de daño inducido por contaminantes específicos.

La exposición de *Raphanus sativus* a contaminantes atmosféricos, especialmente en zonas de alto tráfico vehicular, se asoció con una reducción en el crecimiento del hipocótilo, alteraciones morfológicas en las hojas, necrosis tisular y variaciones en el brillo foliar. Estos efectos son indicativos de estrés oxidativo inducido por la exposición a O_3 y NO_2 . Los datos de la Red MoniCA, empleados para calcular el Índice de Calidad del Aire (ICA), respaldaron estas observaciones, correlacionando las alteraciones morfológicas con las concentraciones de estos contaminantes.

Las correlaciones significativas, junto con los patrones emergentes del PCA, proporcionan evidencia robusta del impacto negativo de la contaminación del aire sobre parámetros morfológicos clave en el rabanito, consolidando su uso como bioindicador sensible en programas de biomonitoreo atmosférico.

Discusión

Con base en las características fisicoquímicas adecuadas del sustrato, se establecieron lotes de *Raphanus sativus* (rabanito) en distintos puntos de biomonitoreo con contrastantes niveles de exposición a contaminación atmosférica, particularmente asociados al tráfico vehicular. Esta variable se consideró clave debido a su reconocida contribución a las emisiones de contaminantes como el dióxido de nitrógeno (NO_2), el ozono troposférico (O_3) y las partículas en suspensión (PM_{10}), todos ellos de alta prevalencia en zonas urbanas densamente transitadas.

Se prestó atención especial a áreas de alta congestión vehicular, incluyendo avenidas principales y zonas industriales cercanas a FANCESA, identificadas como focos emisores críticos. Además, se incorporaron factores meteorológicos —como la precipitación, dirección y velocidad del viento— así como la topografía local, debido a su influencia en la dispersión, transporte y acumulación de contaminantes. En ciertas zonas con baja ventilación atmosférica, se observó una mayor acumulación de contaminantes, lo cual incrementó la sensibilidad de los bioindicadores utilizados.

Durante el período de exposición, se monitorearon los niveles de NO_2 y O_3 troposférico en cada punto de muestreo, integrando la información mediante el Índice de Calidad del Aire (ICA). Los resultados obtenidos evidencian una relación directa y significativa entre la exposición del rabanito a los contaminantes atmosféricos y las respuestas fisiológicas y morfológicas observadas.

Los datos mostraron una disminución en el crecimiento del hipocótilo en plantas expuestas a concentraciones elevadas de O_3 , lo que constituye un indicador temprano y sensible del estrés oxidativo inducido por este contaminante.

El ozono, como potente agente oxidante, puede dañar tejidos meristemáticos y afectar directamente procesos fundamentales como la división celular y la fotosíntesis.

De manera complementaria, se identificaron alteraciones morfológicas notorias en las hojas, incluyendo variaciones en tamaño, forma y coloración, particularmente asociadas a la exposición a NO₂. Estas modificaciones pueden interpretarse como respuestas adaptativas o mecanismos de defensa frente al estrés ambiental, como el cierre estomático o la reconfiguración de estructuras foliares para minimizar el daño.

La presencia de necrosis, observada principalmente en sitios con alta concentración de ozono, indica daño tisular severo derivado de procesos oxidativos que afectan la integridad celular. Este tipo de daño compromete la capacidad fotosintética y metabólica de la planta, disminuyendo su viabilidad y productividad.

En cuanto al brillo foliar, se detectaron variaciones atribuibles tanto a la acumulación de contaminantes particulados en la superficie foliar como a modificaciones en la estructura de la cutícula. Un brillo reducido puede reflejar disfunciones en la transpiración, la termorregulación y el intercambio gaseoso, funciones críticas para el mantenimiento de homeostasis vegetal.

El análisis de correlación de Spearman confirmó asociaciones positivas entre la exposición al O₃ y la reducción del hipocótilo, así como con la necrosis foliar, sugiriendo un impacto directo del ozono en los tejidos vegetales. Asimismo, se identificaron correlaciones positivas entre la exposición al NO₂ y las alteraciones foliares, apoyando la hipótesis de una respuesta específica frente a este contaminante.

El Análisis de Componentes Principales (PCA) reforzó estos hallazgos, mostrando que las variables morfológicas asociadas al hipocótilo y la necrosis se agrupan fuertemente con la presencia de O₃, mientras que las variables relacionadas con el desarrollo foliar y el brillo se asociaron predominantemente con el NO₂.

Este patrón multivariado sugiere rutas de respuesta diferenciadas dependiendo del tipo y nivel de contaminante, y consolida el uso del rabanito como un bioindicador efectivo y económico para programas de monitoreo ambiental urbano.

Sin embargo, una de las principales limitaciones del estudio fue la ausencia de análisis químicos cuantitativos en los tejidos vegetales. La inclusión de espectroscopía o cromatografía, por ejemplo, habría permitido identificar y cuantificar la acumulación de contaminantes específicos en hojas y tallos, fortaleciendo la interpretación de los efectos observados. Esta limitación respondió a restricciones logísticas y de tiempo en el presente estudio, pero su incorporación en futuras investigaciones es altamente recomendable para profundizar en la comprensión del mecanismo de acción de los contaminantes atmosféricos en plantas bioindicadoras.

Conclusiones

Los objetivos del estudio fueron alcanzados, proporcionando valiosa información sobre la calidad del aire en Sucre y validando al rabanito (*Raphanus sativus* cv. Cherry Belle) como un bioindicador confiable y efectivo. Se estandarizó el cultivo de rabanito en Sucre, desarrollando un protocolo desde la preparación del sustrato hasta el cultivo antes de la exposición, asegurando consistencia y reproducibilidad en su uso como bioindicador de la calidad del aire.

La metodología, que comparó métodos físico-químicos y químicos medidos por equipos de monitoreo de Red MoniCA con el uso del rabanito, fue validada mediante análisis estadísticos no paramétricos. Esto confirmó la efectividad del rabanito como bioindicador y su capacidad para complementar los métodos analíticos, al demostrar ser sensible a los contaminantes atmosféricos, reflejando cambios en crecimiento, salud, y signos de estrés o daño.

Se observaron impactos morfológicos en el rabanito, como cambios en peso, brillo foliar y necrosis, correlacionados con niveles de ozono troposférico y dióxido de nitrógeno. El análisis de Componentes Principales (PCA) indicó que el hipocótilo y la necrosis están más relacionados con el ozono, mientras que las hojas y el brillo foliar están influenciados por el dióxido de nitrógeno. Los métodos estadísticos confirmaron la significancia de estos cambios, subrayando la sensibilidad del rabanito como bioindicador, permitiendo una evaluación precisa de la contaminación atmosférica y sus efectos en Sucre.

Referencias

- B.A. Marker, A.M. Braune and H.G. Zechmeister; Biomonitoring y bioindicadores, principales conceptos y aplicaciones, Volumen 6.
- Bernd Markert y Simone Wünschmann Uso de bioindicadores y biomonitores de organismos para observar la influencia de sustancias químicas en el medio ambiente, 2012.
- Bracho Javier, Pierre Francis, Quiroz Ana, Caracterización de componentes de sustratos locales para la producción de plántulas de hortalizas en el estado de Lara, Venezuela, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), 2009
- Calidad del aire – Índice de contaminación atmosférica diaria, Anteproyecto de la Norma Boliviana NB 62018, Disponible en: IBNORCA, Consultado en: octubre, 2, 2022.
- Ferrel Meneses, Limbert Elmer y JACINTO E., Napoleón. Valoración económica de la mitigación de la Contaminación Atmosférica en la Localidad de Vinto - Oruro. *Rev. Met. UTO* [online]. 2005, n.26, pp. 42-48. ISSN 2078-5593.
- García, S. I., & Zavatti, J. R. (2023). Calidad de aire y salud. *Revista de Salud Ambiental*, 24(2), 282-283.
- Hartinger, S. M., Palmeiro-Silva, Y. K., Llerena-Cayo, C., Blanco-Villafuerte, L., Escobar, L. E., Diaz, A., ... & Romanello, M. El informe de 2023 de Lancet Countdown Latinoamérica sobre salud y cambio climático: la necesidad de un desarrollo resiliente al clima centrado en la salud.
- Jaïro , Philippe Laval-Gilly, Michel Henryon et Dominique; Monitoreo biológico de la calidad del aire
- Nali C., Balducci E., Frati L., Paoli L, Loppi S. et Lorenzini G; Biomonitoring integrado de la calidad del aire con plantas y líquenes: Un estudio de caso sobre el ozono ambiental del centro de Italia.
- Oller Cruz Oscar Javier, Empleo de bioindicadores para determinar la calidad del aire en la ciudad de Tarija en puntos de muestreo de red MoniCA, 2017.
- Palacios Jaimes , M. L., Ocaña Servin , H. L., García Argueta , I., Hernández Sánchez , M., & Camacho Beiza , I. R. (2024). Cambio Climático y Salud Respiratoria. Revisión Sistemática de la Literatura. *Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano* , 6(1), 1452–1469. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v6i1.535>
- Pell E.J., Winner W.E., Vinten Johasen C. et Monney H.A.; Respuesta del rábano a múltiples estrés y respuestas fisiológicas y de crecimiento a los cambios en el ozono y el nitrógeno, Vol 115, 1990.
- Raphanus Sativus cv Cherry belle (rabanito), Disponible en :http://www7.uc.cl/sw_educ/hort0498/HTML/p1394.html, Consultado diciembre, 15, 2020
- Ros, Á. L., Ugalde, S. A., Bajo, Á. I., & Alemán, L. C. (2023). Contaminación ambiental y salud cardiovascular: enfoque integral y nuevas evidencias. *REC: CardioClinics*, 59, 3-11.

Reinhard Kostka-Rick & William J. Manning,
Rábano un modelo para estudiar las
respuestas de las plantas al aire, 1992.

Zeballos G, Zaballa M, A. De la Rocha, Cuadros,
Granado S, Anze R. et Franken M,
Estandarización de métodos de cultivo y
exposición para estudios de biomonitorio. La
Paz, Bolivia: Unidad de Calidad Ambiental
Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San
Andrés, 2007.

Zuñiga, D. A. (2024). Evaluación de impacto
ambiental: Cambio climático y desarrollo
sostenible en Neuquén y Río Negro. Tinta
Libre Ediciones.