





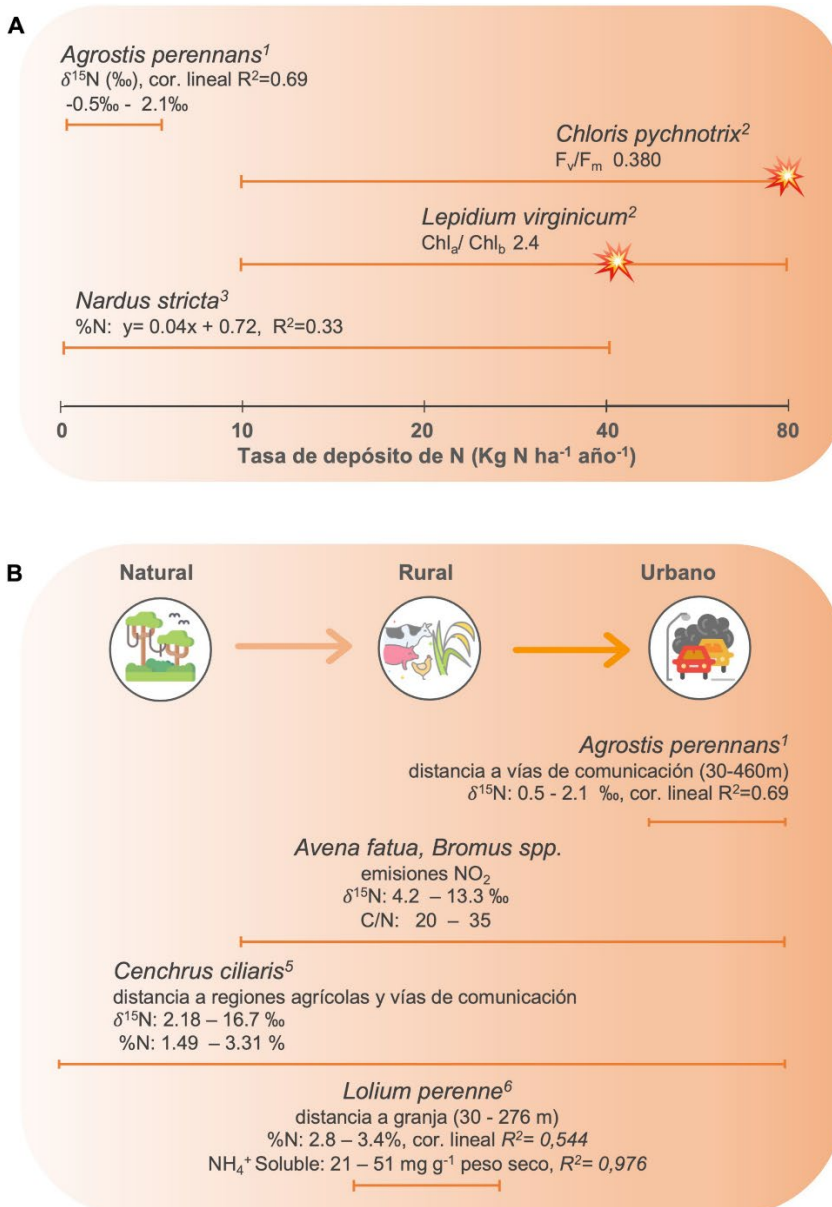






**Tabla 1.** Ejemplos de malezas que han sido usadas como biomonitores de depósito de N.**Table 1.** Examples of weed species that have been used as biomonitors of N deposition.

Especie	Origen	Referencia
<i>Agrostis perennans</i>	América	(Redling et al. 2013; Tropicos 2023)
<i>Avena fatua</i>	África, Eurasia	(Wang y Pataki 2009; GBIF 2023)
<i>Bidens pilosa</i>	América	(Stewart et al. 2002; Martínez y de la Barrera 2021; GBIF 2023)
<i>Bromus diandrus</i>	África, Eurasia	(Wang y Pataki 2009; GBIF 2023)
<i>Bromus hordeaceus</i>	África, Eurasia	(Wang y Pataki 2009; GBIF 2023)
<i>Bromus madritensis</i>	África, Eurasia	(Wang y Pataki 2009; GBIF 2023)
<i>Cenchrus ciliaris</i>	África, Asia tropical	(Khalid et al. 2020; Díaz-Álvarez y de la Barrera 2021; GBIF 2023)
<i>Chloris gayana</i>	África, Asia tropical	(Martínez y de la Barrera 2021; GBIF 2023)
<i>Chloris pycnотrix</i>	África	(Martínez y de la Barrera 2021; GBIF 2023)
<i>Chloris virgata</i>	África, Asia	(Martínez y de la Barrera 2021; GBIF 2023)
<i>Lepidium virginicum</i>	Norte América	(Martínez y de la Barrera 2021; GBIF 2023)
<i>Lolium multiflorum</i>	África, Eurasia	(Sutton et al. 2004; Sommer et al. 2009; GBIF 2023)
<i>Lolium perenne</i>	África, Eurasia	(Sutton et al. 2004; GBIF 2023)
<i>Nardus stricta</i>	Eurasia	(Hicks et al. 2000; NZPCN 2023)
<i>Panicum virgatum</i>	América	(Redling et al. 2013; GBIF 2023)
<i>Parthenium hysterophorus</i>	América	(Khalid et al. 2020; GBIF 2023)
<i>Pennisetum setaceum</i>	África	(Martínez y de la Barrera 2021; GBIF 2023)
<i>Ricinus communis</i>	África, Asia	(Khalid et al. 2020; GBIF 2023)
<i>Taraxacum officinale</i>	Europa	(Martínez y de la Barrera 2021; NZPCN 2023)



**Figura 3.** Especies de malezas en las que se han observado respuestas fisiológicas al depósito de N y con evidencia del inicio del estrés por exceso de N (\*). Para cada especie, las líneas naranjas indican la amplitud de la exposición de las plantas al depósito de N (A) o su ubicación a lo largo de un gradiente de urbanización (B). Las variables fisiológicas usadas en los estudios son %N, contenido de N (%);  $\delta^{15}\text{N}$  huella isotópica del  $^{15}\text{N}$  (‰);  $F_v/F_m$ , fluorescencia de la clorofila a;  $\text{Chl}_a/\text{Chl}_b$ , relación de la clorofila a sobre la b; C/N, relación carbono/ nitrógeno. (Datos de: <sup>1</sup>Redling et al. 2013, <sup>2</sup>Martínez y de la Barrera 2021, <sup>3</sup>Hicks et al. 2000, <sup>4</sup>Wang y Pataki 2009, <sup>5</sup>Díaz-Álvarez y de la Barrera 2021, <sup>6</sup>Sutton et al. 2004).

**Figura 3.** Weed species for which physiological responses to N deposition and evidence of the onset of excess N stress (\*) have been observed. For each species, the orange lines indicate the range of plant exposure to N deposition (A) or their position along an urbanization gradient (B). Physiological variables used in the studies are %N, N content (%);  $\delta^{15}\text{N}$  isotopic signature of  $^{15}\text{N}$  (‰);  $F_v/F_m$ , chlorophyll a fluorescence;  $\text{Chl}_a/\text{Chl}_b$ , ratio of chlorophyll a to b; C/N, carbon to nitrogen ratio. (Data from: <sup>1</sup>Redling et al. 2013, <sup>2</sup>Martínez y de la Barrera 2021, <sup>3</sup>Hicks et al. 2000, <sup>4</sup>Wang y Pataki 2009, <sup>5</sup>Díaz-Álvarez y de la Barrera 2021, <sup>6</sup>Sutton et al. 2004).

Para seleccionar biomonitores potenciales de depósito de N es conveniente usar especies ya descritas como nitrófilas, por ejemplo *Lolium multiflorum*, *Ferula communis*, *Urtica dioica*, *Urtica membranacea*, *Bromus tectorum*, *Rumex obtusifolia*, *Rumex alpinus* y diversos pastos típicos de áreas arables y con disturbio (Schmidtlein 2005; Pitcairn et al. 2006; Blank et al. 2007; Biondi et al. 2012; Vallano et al. 2012). Se ha observado que especies como, *Chloris pycnothrix* y *Lepidium virginicum* pueden tolerar tasas altas de depósito de N, mostrando sensibilidad a tasas por encima de los 40 Kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, como un descenso de la F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> y de la relación de la clorofila a/b, respectivamente (Martínez y de la Barrera 2021). Algunas como *Melinis repens* y *Taraxacum officinale* incluso incrementan su sobrevivencia bajo 80 Kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Martínez y de la Barrera 2021). Por su parte, *Bidens pilosa*, *Chloris gayana*, *Pennisetum setaceum*, mantienen un buen desempeño desde los 10 hasta los 80 Kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, además de mostrar cambios en distintas variables fisiológicas en respuesta a la disponibilidad de Nr, por lo que podrían ser potenciales biomonitores (Martínez y de la Barrera 2021).

Los valores de Ellenberg también pueden ser una guía adecuada para identificar especies nitrófilas, específicamente aquellos referentes a disponibilidad de N (Landolt 2001; Vibrans 2014). Si bien dichos valores son de la vegetación de Europa central, algunas de las malezas incluidas en esos estudios poseen amplia distribución y corresponden a especies distribuidas en sitios de alta disponibilidad de N, como *Heracleum sphondylium*, *Lolium perenne*, *Rumex acetosa*, *Taraxacum officinale*, *Urtica dioica* (Hill y Carey 1997; Landolt 2001).

## Pastos

La familia Poacea tiene especies que persisten bajo tasas elevadas de depósito de N y es una de las familias de malezas más diversas (Bobbink et al. 2010; Celesti-Grapow et al. 2013; Martínez-De La Cruz et al. 2015; Izgördü y Akan 2021; Martínez et al. 2021b). Hay estudios en pastos que indican que pueden tolerar condiciones de depósito de N alto, donde la acidez y la disponibilidad de metales pesados pueden incrementar y afectar la disponibilidad y absorción de otros nutrientes (Marschner 2012; Tian et al. 2016). En estos organismos se ha observado que pueden mantener en una relación baja de Mn/Fe en escenarios donde el exceso de N incrementa la disponibilidad del Mn (Tian et al. 2016). En monocotiledóneas, como los pastos, los mecanismos de adquisición de Fe pueden ser una clave en la tolerancia (Tian et al. 2016). Esto es debido a que el Mn entra por el transportador del Fe en dicotiledóneas, un transportador escaso en monocotiledóneas, lo que permite una relación baja de Mn/Fe (Marschner 2012; Tian et al. 2016).

Los pastos también poseen mecanismos fisiológicos que les permiten ser eficientes en el uso del agua, la cual puede ser restrictiva en áreas urbanizadas y zonas secas (Gibson 2009; Czaja et al. 2020). Esto contribuye a la proliferación de pastos exóticos que suele observarse como resultado de la urbanización (Capstick et al. 2019; Martínez et al. 2021b). Por ejemplo, *Cenchrus ciliaris*, un pasto forrajero que se comporta como invasor en México, ha sido útil para identificar el aporte de N derivado de actividades antrópicas (Díaz-Álvarez y de la Barrera 2021). Dicha especie también puede tolerar altas tasas de depósito de N, dado que logra mantener la producción de biomasa bajo 50 Kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Lyons et al. 2013).

## Una fuente no exclusiva de N

Una aparente limitación del uso de plantas ancladas al suelo es que asimilan distintas fuentes de N. Es decir que su nutrición no es exclusiva del N que se deposita de la atmósfera, como en biomonitores epífitos. Sin embargo, el contenido de N total en el tejido vegetal puede ser indicador de la cantidad de Nr disponible en el ambiente, aún en plantas ancladas al suelo (Díaz-Álvarez et al. 2018). De hecho, el N adquirido por las partes aéreas de las plantas ancladas al suelo puede alcanzar entre el 25 y 60% del N total de la planta, facilitando así la producción de hasta el 85% de su biomasa aérea (Ammann et al. 1999; Sutton et al. 2004; Padgett et al. 2009). Por ejemplo, en especies herbáceas y arbustos como *Lolium multiflorum*, *Deschampsia flexuosa*, *Calluna vulgaris* y *Erica cinerea*, se han documentado relaciones lineales en el contenido de N total, con aumentos de 0.04–0.15% (peso seco) por cada kilogramo que incrementa la tasa de depósito, en el rango de 5 a 40 Kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Hicks et al. 2000; Sutton et al. 2004).

Aun teniendo acceso a distintas fuentes de N para su nutrición, la señal isotópica de los tejidos vegetales permite distinguir sus contribuciones específicas. Por ejemplo, los valores de δ<sup>15</sup>N medidos en los pastos *Avena fatua*, *Bromus diandrus*, *Bromus hordeaceus*, *Bromus madritensis* y *Cenchrus ciliaris*, brindan información sobre la naturaleza de la fuente de Nr y la distancia a la misma (Fig. 3; Wang y Pataki 2009; Díaz-Álvarez y de la Barrera 2021). También, se ha identificado el cambio de las fuentes predominantes de Nr a través del tiempo estudiando plantas de herbario colectadas en distintas (Stewart et al. 2002).

## Comentarios finales

El incremento de la producción de formas reactivas de N ha sobrepasado el límite planetario que permite el adecuado funcionamiento de los ecosistemas. Es un factor importante del cambio global, poniendo en riesgo la salud humana y de los ecosistemas. En áreas urbanas, donde la producción de formas reactivas de N es alta, es necesario buscar herramientas para cuantificar su depósito. Las plantas son una alternativa para su biomonitoreo, dado que las formas reactivas de N suspendidas en la atmósfera se depositan como NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y estas pueden asimilarlo.

En el biomonitoreo del depósito de N, distintas variables fisiológicas permiten caracterizar la disponibilidad de N en el ambiente. Tal es el caso del contenido de N total, la cantidad de proteínas libres, la concentración de clorofila, la biomasa, así como la relación del N con otros elementos, como Ca, K, P. Además, la actividad de las enzimas del metabolismo del N puede ser otro indicador, dado que el Nr asimilado induce su síntesis y actividad. Por su parte, la herramienta de isótopos estables

puede ayudar a identificar las fuentes de N que asimilan los organismos. También, la actividad de enzimas del metabolismo del N muestra de manera indirecta el incremento de la disponibilidad de N en el ambiente. Dada la toxicidad del N a nivel celular, la evaluación de variables fisiológicas indicadoras de estrés, como la producción de los antioxidantes, el daño a las membranas celulares, la acumulación de pigmentos accesorios y el descenso de tasas fotosintéticas, puede ser útil en el biomonitorio, sobre todo en las malezas más tolerantes.

Las malezas muestran promesa para el biomonitorio del depósito de N en áreas urbanas. Son abundantes, toleran el disturbio y se ha documentado su tolerancia a altas tasas de depósito de N, por encima de los umbrales en los que comienza el daño fisiológico en otras especies vegetales. Su evaluación ecofisiológica permite determinar cambios en la disponibilidad de N en el ambiente, así como discernir en las distintas fuentes de emisión.

## Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico, UNAM (Proyecto PAPIIT IN211519). Este trabajo forma parte de los requisitos para la obtención del grado de Doctor en Ciencias de DNM en el Posgrado en Ciencias Biológicas (Ecología), UNAM, quien además contó con una beca del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México (CVU 884692).

## Contribución de los autores

D. Nayeli Martínez: Conceptualización, Redacción - borrador original, Redacción - revisión y edición. Heike Vibrans: Conceptualización, Redacción - revisión y edición. Francisco J. Espinosa-García: Redacción - revisión y edición. Morelia Camacho-Cervantes: Redacción - revisión y edición. Erick de la Barrera: Administración del proyecto, Adquisición de fondos, Conceptualización, Redacción - revisión y edición.

## Referencias

- Aber, J.D., Nadelhoffer, K.J., Steudler, P., Melillo, J.M. 1989. Nitrogen saturation in northern forest ecosystems. *BioScience* 39: 378-386.
- Adlimoghaddam, A., Sabbir, M.G., Albeni, B.C. 2016. Ammonia as a potential neurotoxic factor in alzheimer's disease. *Frontiers in Molecular Neuroscience* 9: 57.
- AL-Alam, J., Chbani, A., Faljoun, Z., Millet, M. 2019. The use of vegetation, bees, and snails as important tools for the biomonitoring of atmospheric pollution—a review. *Environmental Science and Pollution Research* 26: 9391-9408.
- Ammann, M., Siegwolf, R., Pichlmayer, F., Suter, M., Saurer, M., Brunold, C. 1999. Estimating the uptake of traffic-derived NO<sub>2</sub> from <sup>15</sup>N abundance in Norway spruce needles. *Oecologia* 118: 124-131.
- Apel, K., Hirt, H. 2004. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology* 55: 373-399.
- Arróniz-Crespo, M., Leake, J.R., Horton, P., Phoenix, G.K. 2008. Bryophyte physiological responses to, and recovery from, long-term nitrogen deposition and phosphorus fertilisation in acidic grassland. *New Phytologist* 180: 864-874.
- Ashraf, M., Harris, P.J.C. 2013. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica* 51: 163-190.
- Azcón-Bieto, J., Talón, M. 2008. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. 2°. McGraw-Hill Interamericana, Madrid, España.
- Bassi, D., Menossi, M., Mattiello, L. 2018. Nitrogen supply influences photosynthesis establishment along the sugarcane leaf. *Scientific Reports* 8: 2327.
- Biondi, E., Casavecchia, S., Pesaresi, S. 2012. Nitrophilous and ruderal species as indicators of climate change. Case study from the Italian Adriatic coast. *Plant Biosystems* 146: 134-142.
- Blank, R.R., Chambers, J., Roundy, B., Whittaker, A. 2007. Nutrient availability in rangeland soils: Influence of prescribed burning, herbaceous vegetation removal, overseeding with *Bromus tectorum*, season, and elevation. *Rangeland Ecology & Management* 60: 644-655.
- Bobbink, R., Hicks, K., Galloway, J., Spranger, T., Alkemade, R., Ashmore, M., Bustamante, M., et al. 2010. Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis. *Ecological Applications* 20: 30-59.
- Britto, D.T., Kronzucker, H.J. 2002. NH<sub>4</sub><sup>+</sup> toxicity in higher plants: A critical review. *Journal of Plant Physiology* 159: 567-584.
- Capstick, L.A., Draycott, R.A.H., Wheelwright, C.M., Ling, D.E., Sage, R.B., Hoodless, A.N. 2019. The effect of game management on the conservation value of woodland rides. *Forest Ecology and Management* 454: 117242.
- Celesti-Grapow, L., Capotorti, G., Del Vico, E., Lattanzi, E., Tilia, A., Blasi, C. 2013. The vascular flora of Rome. *Plant Biosystems* 147: 1059-1087.
- Cobley, L.A.E., Pataki, D.E. 2019. Vehicle emissions and fertilizer impact the leaf chemistry of urban trees in Salt Lake Valley, UT. *Environmental Pollution* 254: 112984.
- Crutzen, P.J., Günter, H.B. 2016. *Paul J. Crutzen: A Pioneer on Climate Change in Chemistry and Atmospheric the Anthropocene*. Springer, Mosbach, Germany.
- Czaja, M., Kolton, A., Muras, P. 2020. The Complex Issue of Urban Trees—Stress Factor Accumulation and Ecological Service Possibilities. *Forests* 11: 932.
- Dawson, T.E., Mambelli, S., Plamboeck, A.H., Templer, P.H., Tu, K.P. 2002. Stable Isotopes in Plant Ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics* 33: 507-559.
- de Vries, W. 2021. Impacts of nitrogen emissions on ecosystems and human health: A mini review. *Current Opinion in Environmental Science and Health* 21: 100249.
- Decina, S.M., Hutyra, L.R., Templer, P.H. 2020. Hotspots of nitrogen deposition in the world's urban areas: a global data synthesis. *Frontiers in Ecology and the Environment* 18: 92-100.



- DeHayes, D.H., Schaberg, P.G., Hawley, G.J., Strimbeck, G.R. 1999. Acid rain impacts on calcium nutrition and forest health. *BioScience* 49: 789-800.
- Dekker, J. 2011. *Evolutionary Ecology of Weeds*. Weed Biology Laboratory, Agronomy Department, Iowa, USA.
- Demidchik, V. 2015. Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. *Environmental and Experimental Botany* 109: 212-228.
- Díaz-Álvarez, E.A., de la Barrera, E. 2021. Influence of land use on the C and N status of a C<sub>4</sub> invasive grass in a semi-arid region: Implications for biomonitoring. *Plants* 10: 1-16.
- Díaz-Álvarez, E.A., Lindig-Cisneros, R., de la Barrera, E. 2018. Biomonitoring of atmospheric nitrogen deposition: Potential uses and limitations. *Conservation Physiology* 6: 1110-1093.
- Díaz-Álvarez, E.A., De la Barrera, E., Arciga-Pedraza, A., Arróniz-Crespo, M. 2019. Bryophyte enzymatic responses to atmospheric nitrogen deposition: A field validation for potential biomonitoring. *The Bryologist* 122: 396-403.
- Díaz-Álvarez, E.A., de la Barrera, E., Barrios-Hernández, E.Y., Arróniz-Crespo, M. 2020. Morphophysiological screening of potential organisms for biomonitoring nitrogen deposition. *Ecological Indicators* 108: 105729.
- Douglas, I., Goode, D., Houck, M., Wang, R. 2011. *The Routledge Handbook of Urban Ecology*. Routledge, Oxon, UK.
- Eldor, A.P. 2007. *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*. Academic Press is an imprint of Elsevier, Oxford, UK.
- Elliott, E.M., Kendall, C., Wankel, S.D., Burns, D.A., Boyer, E.W., Harlin, K., Bain, D.J., et al. 2007. Nitrogen isotopes as indicators of NO<sub>x</sub> source contributions to atmospheric nitrate deposition across the Midwestern and Northeastern United States. *Environmental Science & Technology* 41: 7661-7667.
- Espinosa-García, F.J., Sánchez-Blanco, J., Reyes, N.P., Guevara-Féfer, F. 2019. Malezas. En: *La Biodiversidad en Michoacán. Estudio de Estado* 2, pp. 267-273. CONABIO, Ciudad de México, México.
- Felix, J.D., Avery, G.B., Mead, R.N., Kieber, R.J., Willey, J.D. 2016. Nitrogen content and isotopic composition of spanish moss (*Tillandsia usneoides* L.): Reactive nitrogen variations and source implications across an urban coastal air shed. *Environmental Processes* 3: 711-722.
- Foley, J. a, Defries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., et al. 2005. Global consequences of land use. *Science* 309: 570-4.
- Forbes, P.B.C., van der Wat, L., Kroukamp, E.M. 2015. Biomonitoring. En: Forbes, P.B.C. (ed.), *Comprehensive Analytical Chemistry*, pp. 53-108. Elsevier, Oxford, UK.
- Galloway, J.N., Aber, J.D., Erisman, J.W., Seitzinger, S. ybil P., Howarth, R.W., Cowling, E.B., et al. 2003. The nitrogen cascade. *BioScience* 53: 341-356.
- Galloway, J., Dentener, F., Capone, D.G., Boyer, E.W., Howarth, R.W., Seitzinger, S.P., Asner, G.P. et al. 2004. Nitrogen cycles: Past, present, and future. *Biogeochemistry* 70: 153-226.
- GBIF 2023. Global Biodiversity Information Facility, Copenhagen, Dinamarca. [Accedido 13 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.gbif.org/>
- Gibson, D.J. 2009. *Grasses and Grassland Ecology*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Godavari, H.R., Chin, C.K., Waygood, E.R. 1976. Effect of benzimidazole on nicotinamide adenine dinucleotide phosphate phosphomonoesterase activity in wheat leaves. *Experientia* 32: 1140-1142.
- González, C.M., Orellana, L.C., Casanovas, S.S., Pignata, M.L. 1998. Environmental conditions and chemical response of a transplanted lichen to an urban area. *Journal of Environmental Management* 53: 73-81.
- González, Z.C.A., Vallarino, A., Pérez, J.J.C., Low, P.A.M. 2014. *Bioindicadores: Guardianes de Nuestro Futuro Ambiental*. El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur), Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Cd. de México, México.
- Hanan-Alipi, A.M., Vibrans, H. 2015. Las malezas: un laboratorio natural para el estudio de la evolución. *Revista fuente nueva epoca* 6: 41-47.
- Hauck, M. 2010. Ammonium and nitrate tolerance in lichens. *Environmental Pollution* 158: 1127-1133.
- Hicks, W.K., Leith, I.D., Woodin, S.J., Fowler, D. 2000. Can the foliar nitrogen concentration of upland vegetation be used for predicting atmospheric nitrogen deposition? Evidence from field surveys. *Environmental Pollution* 107: 367-376.
- Hill, M.O., Carey, P.D. 1997. Prediction of yield in the Rothamsted park grass experiment by Ellenberg indicator values. *Journal of Vegetation Science* 8: 579-586.
- Hoff, T., Stummann, B.M., Henningsen, K.W. 1992. Structure, function and regulation of nitrate reductase in higher plants. *Physiologia Plantarum* 84: 616-624.
- Horswill, P., O'Sullivan, O., Phoenix, G.K., Lee, J.A., Leake, J.R. 2008. Base cation depletion, eutrophication and acidification of species-rich grasslands in response to long-term simulated nitrogen deposition. *Environmental Pollution* 155: 336-349.
- IPCC 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, USA.
- Izgördü, Z., Akan, H. 2021. Floristic composition in the ruderal areas of Southeast Anatolia, Turkey. *Bangladesh Journal of Plant Taxonomy* 28: 241-256.
- Izquieta-Rojano, S., López-Aizpún, M., Irigoyen, J.J., Santamaría, J.M., Santamaría, C., Lasheras, E., Ochoa-Hueso, R., et al. 2018. Eco-physiological response of *Hypnum cupressiforme* Hedw. to increased atmospheric ammonia concentrations in a forest agrosystem. *Science of the Total Environment* 619-620: 883-895.
- Janga, A.P., Raghuram, N. 2015. Nitrogen and stress. En: Pandey, G.K. (ed.), *Elucidation of Abiotic Stress Signaling in Plants. Functional Genomics Perspectives, Volume 2*, pp. 323-240. Springer, New York, USA.
- Johansson, O., Nordin, A., Olofsson, J., Palmqvist, K. 2010. Responses of epiphytic lichens to an experimental whole-tree nitrogen-deposition gradient. *New Phytologist* 188: 1075-1084.
- Johnson, D., Leake, J.R., Lee, J.A. 1999. The effects of quantity and duration of simulated pollutant nitrogen deposition on root-surface phosphatase activities in calcareous and acid grasslands: A bioassay approach. *New Phytologist* 141: 433-442.
- Kaiser, J.J., Lewis, O.A.M. 1984. Nitrate reductase and glutamine synthetase activity in leaves and roots of nitrate-fed *Helianthus annuus* L. *Plant and Soil* 77: 127-130.
- Kapoor, C.S., Bamniya, B.R., Kapoor, K. 2013. Efficient control of air pollution through plants, a cost-effective alternative: Studies on Dalbergia sissoo Roxb. *Environmental Monitoring and Assessment* 185: 7565-7580.
- Kapoor, D., Singh, S., Kumar, V., Romero, R., Prasad, R., Singh, J. 2019. Antioxidant enzymes regulation in plants in reference to reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS). *Plant Gene* 19: 100182.

- Khalid, N., Noman, A., Masood, A., Tufail, A., Hadayat, N., Alnusairi, G.S.H., Alamri, S., et al. 2020. Air pollution on highways and motorways perturbs carbon and nitrogen levels in roadside ecosystems. *Chemistry and Ecology* 36: 868-880.
- Kogelmann, W.J., Sharpe, W.E. 2006. Soil acidity and manganese in declining and nondeclining sugar maple stands in Pennsylvania. *Journal of Environmental Quality* 35: 433-441.
- Kong, W., Liu, F., Zhang, C., Zhang, J., Feng, H. 2016. Non-destructive determination of malondialdehyde (MDA) distribution in oilseed rape leaves by laboratory scale NIR hyperspectral imaging. *Scientific Reports* 6: 1-8.
- Kronzucker, H.J., Britto, D.T., Davenport, R.J., Tester, M. 2001. Ammonium toxicity and the real cost of transport. *Trends in Plant Science* 6: 335-337.
- Landolt, E. 2001. *Flora der Stadt Zürich (1984–1998)*. Springer Basel AG, Basel, Schweiz.
- Leuschner, C., Ellenberg, H. 2017. *Ecology of Central European Forests. Vegetation Ecology of Central Europe, Volume I*. Springer, Cham, Switzerland.
- Liu, X.J., Xu, W., Du, E.Z., Tang, A.H., Zhang, Y., Zhang, Y.Y., Wen, Z., et al. 2020. Environmental impacts of nitrogen emissions in China and the role of policies in emission reduction: Reactive nitrogen issues in China. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 378: 20190324.
- Lyons, K.G., Maldonado-Leal, B.G., Owen, G. 2013. Community and ecosystem effects of buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) and nitrogen deposition in the Sonoran desert. *Invasive Plant Science and Management* 6: 65-78.
- Markert, B.A., Breure, A.M., Zechmeister, H.G. 2003. *Bioindicators & Biomonitors: Principles, Concepts and Applications*. Elsevier Science Ltd., Oxford, UK.
- Marschner, P. 2012. *Mineral nutrition of higher plants*. 3.<sup>a</sup> ed. Elsevier Ltd, San Diego, CA. USA.
- Martínez-De La Cruz, I., Vibrans, H., Lozada-Pérez, L., Romero-Manzanares, A., Aguilera-Gómez, L.I., Rivas-Manzano, I.V. 2015. Plantas ruderales del área urbana de Malinalco, Estado de México, México. *Botanical Sciences* 93: 907-919.
- Martínez, D.N., de la Barrera, E. 2021. Physiological screening of ruderal weed biomonitors of atmospheric nitrogen deposition. *Botanical Sciences* 1: 573-587.
- Martínez, D.N., Díaz-Álvarez, E.A., de la Barrera, E. 2021a. Selecting biomonitors of atmospheric nitrogen deposition: Guidelines for practitioners and decision makers. *Nitrogen* 2: 308-320.
- Martínez, D.N., López-Toledo, L., Espinosa-García, F., Camacho-Cervantes, M., de la Barrera, E. 2021b. Ephemeral visitors or permanent residents? — Decadal change in the ruderal vegetation from a periurban university campus. *Urban Forestry & Urban Greening* 65: 127372.
- McKinney, M.L. 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation* 127: 247-260.
- Meinzer, F.C., Zhu, J. 1998. Nitrogen stress reduces the efficiency of the C4 CO<sub>2</sub> concentrating system, and therefore quantum yield, in *Saccharum* (sugarcane) species. *Journal of Experimental Botany* 49: 1227-1234.
- Moreau, D., Milard, G., Munier-Jolain, N. 2013. A plant nitrophily index based on plant leaf area response to soil nitrogen availability. *Agronomy for Sustainable Development* 33: 809-815.
- Moreau, D., Busset, H., Matejíček, A., Munier-Jolain, N. 2014. The ecophysiological determinants of nitrophily in annual weed species. *Weed Research* 54: 335-346.
- Nagajyoti, P.C., Lee, K.D., Sreekanth, T.V.M. 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: A review. *Environmental Chemistry Letters* 8: 199-216.
- NZPCN 2023. New Zealand Plant Conservation Network, Mangōnuī, New Zealand. [Accedido 22 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://www.nzpcn.org.nz/>
- Ochoa-Hueso, R., Paradela, C., Pérez-Corona, M.E., Manrique, E. 2014. Pigment ratios of the mediterranean bryophyte *Pleurochaete squarrosa* respond to simulated nitrogen deposition. En Sutton, M. A., Mason, K. E., Sheppard, L. J., Sverdrup, H., Haeuber, R., Hicks, W. K. (eds.), *Nitrogen Deposition, Critical Loads and Biodiversity*, pp. 207-216. Springer Dordrecht, The Netherlands.
- Padgett, P.E., Cook, H., Bytnerowicz, A., Heath, R.L. 2009. Foliar loading and metabolic assimilation of dry deposited nitric acid air pollutants by trees. *Journal of Environmental Monitoring* 11: 75-84.
- Peñuelas, J., Filella, I. 2001. Herbaria century record of increasing eutrophication in Spanish terrestrial ecosystems. *Global Change Biology* 7: 427-433.
- Piazzetta, K.D., Ramsdorf, W.A., Maranhão, L.T. 2019. Use of airplant *Tillandsia recurvata* L., Bromeliaceae, as biomonitor of urban air pollution. *Aerobiologia* 35: 125-137.
- Pineda, R.A.L., Venegas, L.E. 2008. Dry and wet deposition of nitrogen emitted in Buenos Aires City to waters of de la Plata River. *Water, Air, and Soil Pollution* 193: 175-188.
- Pitcairn, C.E.R., Leith, I.D., Sheppard, L.J., Sutton, M.A., CEH. 2006. Development of a nitrophobe/nitrophile classification for woodlands, grasslands and upland vegetation in Scotland. NERC/Centre for Ecology and Hydrology, 24pp. (CEH: Project Report Number: C03066). Disponible en: <https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/3379>
- Png, G.K., Turner, B.L., Albornoz, F.E., Hayes, P.E., Lambers, H., Laliberté, E. 2017. Greater root phosphatase activity in nitrogen-fixing rhizobial but not actinorhizal plants with declining phosphorus availability. *Journal of Ecology* 105: 1246-1255.
- Poschenrieder, C., Gunsé, B., Corrales, I., Barceló, J. 2008. A glance into aluminum toxicity and resistance in plants. *Science of the Total Environment* 400: 356-368.
- Pyšek, P., Chocholoušková, Z., Pyšek, A., Jarošík, V., Chytrý, M., Tichý, L. 2004. Trends in species diversity and composition of urban vegetation over three decades. *Journal of Vegetation Science* 15: 781-788.
- Redling, K., Elliott, E., Bain, D., Sherwell, J. 2013. Highway contributions to reactive nitrogen deposition: Tracing the fate of vehicular NO<sub>x</sub> using stable isotopes and plant biomonitors. *Biogeochemistry* 116: 261-274.
- Roem, W.J., Berendse, F. 2000. Soil acidity and nutrient supply ratio as possible factors determining changes in plant species diversity in grassland and heathland communities. *Biological Conservation* 92: 151-161.
- Sala, O.E., Chapin III, F.S., Armesto, J.J., Berlow, E., Dirzo, R., Huber-sanwald, E., Huenneke, L.F., et al. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287: 1770-1774.
- Salemaa, M., Mäkipää, R., Oksanen, J. 2008. Differences in the growth response of three bryophyte species to nitrogen. *Environmental Pollution* 152: 82-91.
- Santiago, L.S., Silvera, K., Andrade, J.L., Dawson, T.E. 2005. El uso de isótopos estables en biología tropical. *Interciencia* 30: 536-542.
- Schmidlein, S. 2005. Imaging spectroscopy as a tool for mapping Ellenberg indicator values. *Journal of Applied Ecology* 42: 966-974.

- Schneider, J.R., Caverzan, A., Chavarria, G. 2019. Water deficit stress, ROS involvement, and plant performance. *Archives of Agronomy and Soil Science* 65: 1160-1181.
- Sommer, S.G., Østergård, H.S., Løfstrøm, P., Andersen, H. V, Jensen, L.S. 2009. Validation of model calculation of ammonia deposition in the neighbourhood of a poultry farm using measured NH<sub>3</sub> concentrations and N deposition. *Atmospheric Environment* 43: 915-920.
- Srivastava, H.S. 1980. Regulation of nitrate reductase activity in higher plants. *Phytochemistry* 19: 725-733.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., et al. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347: 1259855.
- Stevens, C.J., Dupr, C., Dorland, E., Gaudnik, C., Gowing, D.J.G., Bleeker, A., Diekmann, M., et al. 2011. The impact of nitrogen deposition on acid grasslands in the Atlantic region of Europe. *Environmental Pollution* 159: 2243-2250.
- Stevens, J.C., Dise, N.B., Mountford, J.O., Gowing, D.J. 2004. Impact of nitrogen deposition on the species richness of grasslands. *Science* 303: 1876-1879.
- Stewart, G.R., Aidar, M.P.M.M., Joly, C.A., Schmidt, S. 2002. Impact of point source pollution on nitrogen isotope signatures ( $\delta^{15}\text{N}$ ) of vegetation in SE Brazil. *Oecologia* 131: 468-472.
- Sutton, M. a, Pitcairn, C.E.R., Whitfield, C.P. 2004. *Bioindicator and biomonitoring methods for assessing the effects of atmospheric nitrogen on statutory nature conservation sites*. JNCC Report No: 356. 1-232. Disponible en: <https://data.jncc.gov.uk/data/ff165313-018d-46b9-9c4d-3f3dc25d9a27/JNCC-Report-356-FINAL-WEB.pdf>.
- Šilc, U. 2015. Biotic homogenization and differentiation in weed vegetation over the last 70 years. *Open Life Sciences* 10: 537-545.
- Tegeeder, M., Masclaux-Daubresse, C. 2018. Source and sink mechanisms of nitrogen transport and use. *New Phytologist* 217: 35-53.
- Tian, D.S., Niu, S.L. 2015. A global analysis of soil acidification caused by nitrogen addition. *Environmental Research Letters* 10: 024019.
- Tian, Q., Liu, N., Bai, W., Li, L., Chen, J., Reich, P.B., Yu, Q., et al. 2016. A novel soil manganese mechanism drives plant species loss with increased nitrogen deposition in a temperate steppe. *Ecology* 97: 65-74.
- Townsend, A.R., Howarth, R.W., Bazzaz, F.A., Booth, M.S., Cleveland, C.C., Collinge, S.K., Dobson, A.P., et al. 2003. Human health effects of a changing global nitrogen cycle. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1: 240.
- Tropicos 2023. *Agrostis perennans* (Walter) Tuck. [Accedido 13 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://tropicos.org/name/25502790>
- Vallano, D.M., Selmants, P.C., Zavaleta, E.S. 2012. Simulated nitrogen deposition enhances the performance of an exotic grass relative to native serpentine grassland competitors. *Plant Ecology* 213: 1015-1026.
- van den Berg, L.J.L., Dorland, E., Vergeer, P., Hart, M.A.C., Bobbink, R., Roelofs, J.G.M. 2005. Decline of acid-sensitive plant species in heathland can be attributed to ammonium toxicity in combination with low pH. *New Phytologist* 166: 551-564.
- Varela, Z., Aranda, S.C., Estébanez Pérez, B., Medina, N.G., Boquete, M.T. 2017. Empleo de criptógamas como herramienta ecológica de biomonitorización del depósito de nitrógeno en la península ibérica. *Ecosistemas* 26: 45-54.
- Vibrans, H. 2014. Las malezas como indicadoras ambientales. En: González Zuarth, C.A., Vallarino, A., JPérez Jiménez, J.C., Low Pfeng, A.M. (eds.), *Bioindicadores: Guardianes de Nuestro Futuro Ambiental*, pp. 625-652. El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur), Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Cd. de México, México.
- Villaseñor, J.L., Espinosa-García, F.J. 2004. The alien flower plants of Mexico. *Diversity and Distributions* 10: 113-123.
- Vitousek, P.M., Aber, J.D., Howarth, R.W., Likens, G.E., Matson, P.A., Schindler, D.W., Schlesinger, W.H., et al. 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological Applications* 7: 737-750.
- Wang, W., Pataki, D.E. 2009. Spatial patterns of plant isotope tracers in the Los Angeles urban region. *Landscape Ecology* 25: 35-52.
- Wang, Y., Teng, Z.Y., Zhang, X.L., Che, Y.H., Sun, G.Y. 2019. Research progress on the effects of atmospheric nitrogen dioxide on plant growth and metabolism. *Chinese Journal of Applied Ecology* 30: 316-324.
- WHO 2003. *Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide*. World Health Organization, Bonn, Alemania.
- WHO 2011. *Nitrate and nitrite in drinking-water*. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Xiao, H.Y., Xie, Z.Y., Tang, C.G., Wang, Y.L., Liu, C.Q. 2011. Epilithic moss as a bio-monitor of atmospheric N deposition in South China. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 116: D24301.
- Yang, L., Qian, F., Song, D.X., Zheng, K.J. 2016. Research on urban heat-island effect. *Procedia Engineering* 169: 11-18.
- Zandalinas, S.I., Mittler, R. 2022. Plant responses to multifactorial stress combination. *New Phytologist* 234: 1161-11 67.