

RESEARCH ARTICLE

Análisis de lluvia ácida en la ciudad de Nueva Loja, provincia de Sucumbíos

Pablo D. Carrera Oscullo ¹   Lenin S. Vaca Álvarez ¹  Edison O. Segura Chávez ¹ 
Miguel A. Taco Ugsha ² 

¹ Universidad Estatal Amazónica, Sede Sucumbíos, Nueva Loja EC210150, Ecuador

² Universidad Internacional del Ecuador, Campus Quito EC170145, Ecuador

 Correspondencia: pablodacar@yahoo.com  + 593 98 452 2854

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj43002>

Resumen: La lluvia ácida es un fenómeno relacionado principalmente con la quema de combustibles fósiles, la cual libera a la atmósfera sustancias promotoras de ácidos, que con las precipitaciones retornan a la superficie afectando a los ecosistemas. El objetivo de esta investigación fue establecer un diagnóstico sobre lluvia ácida en la zona urbana de Nueva Loja. Se consideraron 23 sitios de muestreo para medir el pH y conductividad de las lluvias durante los meses de mayo y junio de 2019. La mayoría de los sitios estudiados presentaron lluvia ácida ($\text{pH} < 5.60$); la media del pH más baja fue 4.81 y la media más alta fue 6.45. La conductividad presentó valores muy variables, la media de la conductividad más baja fue $3.34 \mu\text{S}/\text{cm}$ y la media más alta fue $19.76 \mu\text{S}/\text{cm}$. Se identificaron fuentes de emisión de gases precursores de lluvia ácida relacionadas con la explotación y transporte de petróleo dentro de la ciudad y sus alrededores. Finalmente, se estableció una línea base de datos con los sectores de mayor incidencia en lluvias ácidas representada en un mapa de isolíneas modeladas mediante el software ArcGIS Pro.

Palabras claves: Lluvia ácida; Lago Agrio; pH; conductividad

Acid rain analysis in the city of Nueva Loja, Sucumbíos province

Abstract: Acid rain is a phenomenon related mainly to the burning of fossil fuels, which releases acid-promoting substances into the atmosphere that return to the surface with precipitation, affecting ecosystems. The objective of this research was to establish a diagnosis of acid rain in the urban area of Nueva Loja. Twenty-three sampling sites were considered to measure the pH and conductivity of rainfall during the months of May and June 2019. Most of the sites studied presented acid rain ($\text{pH} < 5.60$); the lowest pH mean was 4.81 and the highest mean was 6.45. Conductivity presented highly variable values; the lowest conductivity mean was $3.34 \mu\text{S}/\text{cm}$ and the highest mean was $19.76 \mu\text{S}/\text{cm}$. Emission sources of acid rain precursor gases related to oil exploitation and transportation within the city



Cita: Carrera Oscullo, P. D., Vaca Álvarez, L. S., Segura Chávez, E. O., & Taco Ugsha, M. A. (2021). Análisis de lluvia ácida en la ciudad de Nueva Loja, provincia de Sucumbíos. Green World Journal, 4(3), 002. <https://doi.org/10.53313/gwj43002>

Received: 15/November/2021

Accepted: 19/December/2021

Published: 21/December/2021

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.
Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial
editor@greenworldjournal.com

Editor's note: CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2021 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and conditions of the license.

Creative Commons Attribution (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

and its surroundings were identified. Finally, a baseline of data was established with the sectors with the highest incidence of acid rain represented in a map of isolines modeled using ArcGIS Pro software.

Keywords: SARS-CoV-2; population density; contagion rate; statistical analysis

1. Introducción

La ciudad de Nueva Loja, cantón Lago Agrio, es la capital de la provincia de Sucumbíos y se ubica al noreste de la región Amazónica del Ecuador. Sus primeros habitantes fueron indígenas, Cofanes, Kichwas, Shuar y Tetetes [1], siendo estos últimos extintos por el “boom” del caucho y las primeras exploraciones petroleras en la Amazonía ecuatoriana [2]. Su origen yace del descubrimiento de petróleo en Lago Agrio, en 1967, para dar inicio a un incremento significativo en la explotación petrolera en el país. Cuando la colonización emergió, se originó un vertiginoso aumento en la formación de asentamientos humanos, junto con el cambio en el uso de la tierra para la agricultura, formación de vías, entre otras actividades. Nueva Loja es la ciudad más poblada de la Amazonía ecuatoriana y su población se multiplicó 25 veces entre 1974 y 2010, concentrándose principalmente en la zona urbana [3]. Sus actividades antropogénicas propias de una urbe se dan sobre infraestructura petrolera, lo cual favorece la posibilidad de impactos ambientales sobre la población. Se han reportado daños a la población en la zona, como: melanoma de piel, cáncer estomacal, leucemia en niños, entre otros [4], causados por derrames de crudo que han contaminado suelos y recursos hídricos [5,6]. Adicionalmente, se han encontrado perjuicios en la calidad del aire por presencia de mecheros dentro de la ciudad para la quema de gas natural [1].

Una consecuencia importante de la emisión de contaminantes al aire es la lluvia ácida, ésta deriva de la emanación de gases formados en la quema de combustibles fósiles, principalmente por óxidos de azufre (SO_x) y de nitrógeno (NO_x) que posteriormente generan ácidos fuertes que entran en contacto con la superficie terrestre mediante las precipitaciones [7]. El agua de lluvia en ausencia de contaminantes se caracteriza por ser ligeramente ácida debido a la disolución de CO₂ atmosférico natural, que da lugar a la formación de un ácido débil denominado ácido carbónico (H₂CO₃), iones bicarbonato (HCO₃⁻) e iones carbonato (CO₃²⁻). Aproximadamente, sólo un 0.2 % del CO₂ disuelto está en forma de H₂CO₃. El HCO₃⁻ es la especie que predomina en el rango de pH de la mayoría de aguas naturales, mientras que el CO₂ predomina en aguas más ácidas. A 25 °C la concentración de CO₂ en el agua es 1.309×10^{-5} M [8] y se disocia parcialmente en el agua de acuerdo con la reacción: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$. Este equilibrio permite determinar el pH para una muestra de agua en una precipitación no contaminada, a partir de la concentración molar de CO₂ y de su constante de disociación ($K_{a1} = 4.45 \times 10^{-7}$ a 25 °C), proporcionando un valor de pH igual a 5.6 que sirve como valor de referencia; si el pH en una precipitación es inferior, entonces se denomina lluvia ácida [9,10]. En base al daño que podría hacer la lluvia ácida, ésta se clasifica en: extremadamente ácida (pH < 4.5), moderadamente ácida ($4.5 \leq \text{pH} < 5.0$), ligeramente ácida ($5.0 \leq \text{pH} < 5.6$) y lluvia no ácida (pH ≥ 5.6) [11].

La lluvia ácida ocasiona daños en los ecosistemas terrestres y acuáticos, por ejemplo, incrementa la solubilidad y la biodisponibilidad de sustancias tóxicas como el plomo, mercurio y aluminio [10], lo cual se agrava con la deforestación y causa una disminución en la capacidad de intercambio iónico y fertilidad de los suelos, como se ha encontrado en el valle del Río Napo, en la Amazonía Ecuatoriana [12]. Las precipitaciones ácidas pueden inhibir el crecimiento de hongos y bacterias del suelo [13], reduciendo la tasa de humus, mineralización y fijación de nutrientes [14]. Las plantas pueden sufrir debilitamiento frente a plagas y enfermedades por daños de cutícula en las hojas, limitándose su fotosíntesis y transpiración [15]. La acidificación de las aguas puede provocar el declive en la población de anfibios ya que la mayoría de estas especies requieren de agua para su reproducción y son vulnerables al medio ácido [16,17] y a los nitratos [18,19]. Lo anterior es

importante debido a que Ecuador posee la cuarta fauna más diversa de anfibios en el mundo, con 653 especies y de éstas 302 son endémicas y se ubican en su mayoría en el Bosque Montano Oriental y el Bosque Húmedo Tropical Amazónico [20]. Los peces igualmente pueden verse afectados en su reproducción y también pueden sufrir daños en branquias y afectación por modificación en la cadena trófica por el declive del zooplancton [7], lo cual puede afectar en gran medida a muchas comunidades indígenas amazónicas que suplen las necesidades proteicas a través de la pesca.

En Nueva Loja, existen actividades que promueven un incremento acelerado en la contaminación del aire, por ejemplo: el incremento en el número de vehículos de transporte, erupciones constantes del volcán Reventador y principalmente la quema de metano y demás gases resultantes de la extracción de crudo ligero. De esta manera y debido a la escasez de estudios de calidad del aire en la zona, es trascendental realizar un estudio preliminar de la lluvia ácida, especialmente si los daños impactan sobre sitios sensibles y de gran biodiversidad. En la Amazonía ecuatoriana, rica en bosques de tierra firme, se encuentran varias áreas protegidas como: la Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno, la Reserva Biológica Limoncocha y el Parque Nacional Yasuní, en donde es primordial establecer estrategias para un cuidado efectivo. Este estudio pretende dar un diagnóstico breve ante la posibilidad de la presencia de lluvia ácida, cuyos hallazgos sirvan de base para la ejecución de proyectos de protección en la provincia de Sucumbíos, así como promover estudios profundos de las lluvias con una mayor duración y más sitios de estudio en zonas con ecosistemas vulnerables.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

Este estudio se llevó a cabo en la zona urbana de la ciudad de Nueva Loja que se encuentra en el cantón Lago Agrio, provincia de Sucumbíos y se localiza al noreste de la región Amazónica del Ecuador (ver figura 1). Nueva Loja tiene una temperatura media de 24.1 °C y presenta lluvias fuertes durante todo el año con precipitaciones medias que bordean los 3 321 mm [21].

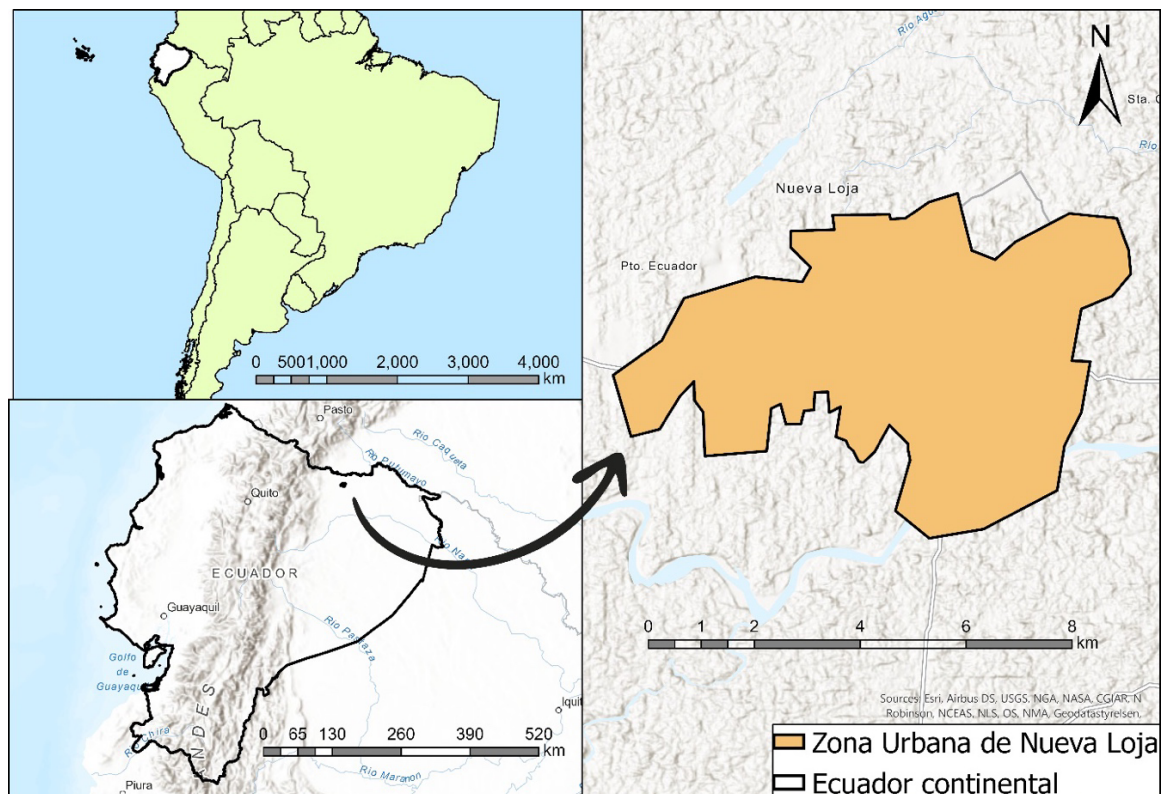


Figura 1. Área de estudio, Nueva Loja-Ecuador.

1.2 Métodos

Las muestras de agua de lluvia se recolectaron durante los meses de mayo y junio de 2019. Mediante un muestreo aleatorio simple se escogieron 23 personas de un grupo de 53 estudiantes voluntarios de la carrera de Biología de la Universidad Estatal Amazónica, Sede Sucumbíos. Los estudiantes se distribuyeron en diferentes sitios de la zona urbana de Nueva Loja según su lugar de residencia (ver figura 2). Las coordenadas de los sitios de muestreo se tomaron por medio de la aplicación para Android denominada GPS Essentials versión 4.4.25 (Mictale.com, Seattle, USA), un software gratuito para teléfonos inteligentes utilizado como receptor GPS que brinda información como: ubicación, precisión, satélites, altitud y direcciones de la brújula, basadas en mapas de fondo de Google. Esta aplicación es capaz de generar datos muy precisos y exactos [22] y ha demostrado tener un desempeño comparable a un receptor GPS Garmin (64S), obteniéndose datos de igual o mayor precisión y exactitud ya que esta aplicación móvil usa Internet para la geolocalización [23].

El muestreo se realizó con base en el protocolo del Programa Global Learning and Observations to Benefit the Environment [24], considerando el punto de muestreo a una altura de 1 m del suelo y en un área abierta, suficientemente lejos de árboles, edificios, cubiertas y otras obstrucciones que pudieran contaminar el agua de lluvia. Para cada punto de muestreo se emplearon tres recipientes de polietileno (PE) de 1 L, cada uno acoplado a un embudo de PE para la captación de agua de lluvia. Se procuró siempre manipular el colector del agua de lluvia desde el lado de viento abajo para evitar contaminación proveniente de la persona hacia el sistema recolector. Las muestras se trasvasaron a recipientes de vidrio ámbar etiquetados, los mismos que se refrigeraron inmediatamente a 4 °C hasta su análisis en el laboratorio de la universidad (ubicado dentro de la zona de estudio). Los límites de la zona urbana de la ciudad de Nueva Loja se obtuvieron a través de geodata desarrollada por Coast S. [25]. Los gráficos de contorno para los valores de pH y conductividad se elaboraron con el software de ArcGIS Pro, con base en la interpolación *spline* que puede emplearse adecuadamente en la cuantificación de contaminantes ambientales obteniéndose una superficie suavizada que pasa por los puntos de datos de entrada [26–28].

Para obtener información de la predominancia de la dirección y velocidad del viento, se emplearon reportes diarios obtenidos a través de la Dirección General de Aviación Civil del Ecuador [29], estación meteorológica convencional M006, tomados durante los dos meses en los que se desarrolló este estudio.

Las muestras de agua de lluvia se analizaron a 25 °C, las mediciones del pH y conductividad se realizaron por triplicado en base a las normas INEN ISO 10523 y NMX-AA-093-SCFI-2000, respectivamente. Para esto, se empleó un equipo multiparamétrico marca Oakton PC700 (Vernon Hills, USA) calibrado con soluciones buffer de pH 4.00, 7.00 y 10.00 marca Boeco (Hamburg, Germany) y una solución de conductividad de 84 µS/cm marca Milwaukee (Rocky Mount, USA).

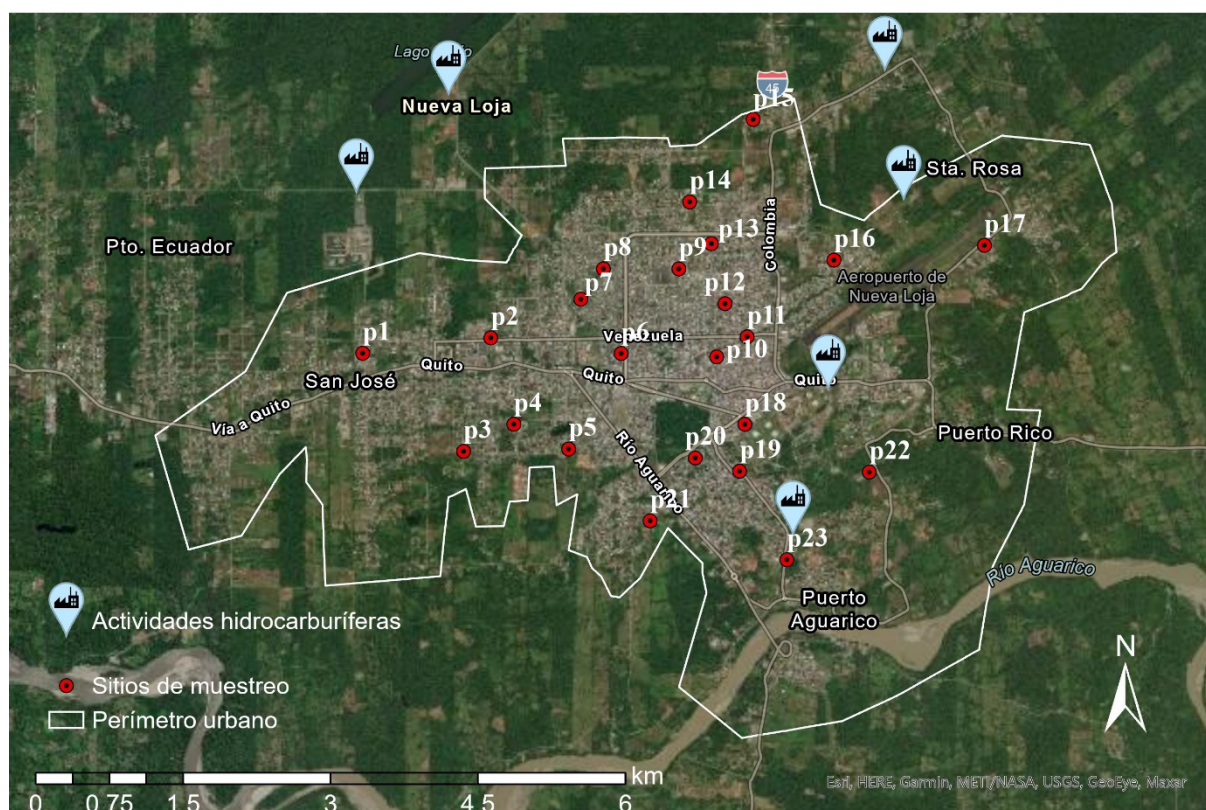


Figura 2. Sitios de muestreo de agua de lluvia en la zona urbana de Nueva Loja.

3. Resultados

3.1. Análisis de pH

La tabla 1 presenta los resultados del análisis de agua de lluvia. Los valores de pH varían entre 4.81 y 6.45. El 65 % de los sitios de muestreo presentó una lluvia ligeramente ácida ($5.0 \leq \text{pH} < 5.6$), lo que indica que la acidez de la lluvia en Nueva Loja es baja en comparación con otros estudios; por ejemplo, Sosa-Echeverría *et al.* [30] reportaron lluvias extremadamente ácidas ($\text{pH} < 4.5$) en la costa de golfo de México en un periodo de diez años. De la misma forma, Zhang *et al.* [10] reportaron lluvias extremadamente ácidas en el este de China en un periodo de cinco años. En la figura 3, se observa el gráfico de contorno de pH que resulta de la interpolación *spline*, ésta revela que las zonas con $\text{pH} < 5.6$ son predominantes en la zona urbana de la ciudad. Estos valores de pH pueden asignarse a las zonas donde existe una mayor cercanía a emisores de contaminantes primarios como los óxidos de azufre y de nitrógeno. Es necesario destacar que las zonas con pH más bajo se encuentran cercanas a sitios donde se desarrollan actividades hidrocarburíferas dentro y fuera del perímetro urbano, las cuales constan de emisores de gases de combustión tales como calderos y mecheros. Tales fuentes de contaminación fueron identificadas con base en investigación de campo, entre estas están: estaciones de bombeo (coordenadas 0.100270, -76.875862 y 0.10027, -76.918896), pozos de crudo (coordenadas 0.111505, -76.870686 y 0.068861, -76.879064) y una central térmica (coordenadas 0.109265, -76.879064).

Por otra parte, los valores de $\text{pH} > 5.60$ pueden asignarse a sitios donde ocurre la neutralización de especies ácidas por especies básicas en la atmósfera. Estas sustancias se presentan en emisiones de material particulado alcalino como carbonatos de calcio y de magnesio que son frecuentes en actividades relacionadas con la producción de concreto, en canteras y minería a cielo abierto. En la provincia de Sucumbíos existen concesiones mineras como La Bonita (139 590 ha) y Reventador GNNMMS (4 906 ha), donde existen minerales alcalinos como fosforitas y lutitas calcáreas. Es necesario considerar también los posibles efectos por minería ilegal que se han

identificado al oeste de la ciudad de Nueva Loja, en las parroquias Jambellí, Cascales y Puerto Libre [31], que además de acidificar las aguas con minerales sulfurosos, pueden emitir a la atmósfera material particulado de tipo alcalino. Otro tipo de emisión capaz de neutralizar las especies ácidas atmosféricas es la de amoníaco originada por fermentación entérica y durante la gestión de desechos pecuarios. Entre las actividades pecuarias dentro de la provincia están la de tipo lechera en la parroquia El Playón, y porcícola en la parroquia Santa Cecilia [32]. Asimismo, debe considerarse un aporte de amoníaco hacia el aire por la volatilización del nitrógeno de fertilizantes usados en distintos cultivos, ya que, en la provincia de Sucumbíos, la mayor parte del uso del suelo se destina a la producción de pastos [33].

Tabla 1. Valores de pH y conductividad del agua de lluvia en la zona urbana de Nueva Loja.

Sitio de muestreo	Sector	Latitud	Longitud	pH		Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	
				$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
1	Cancha del Distrito		-76.918320°	5.57	0.4	5.11	2.83
2	Recinto Ferial		-76.906630°	5.55	0.5	6.26	3.66
3	Barrio Somcla		-76.909110°	5.60	0.5	6.06	3.96
4	Barrio Julio Marín		-76.904530°	5.42	0.4	5.89	4.05
5	Barrio Juan Montalvo		-76.899530°	5.34	0.4	6.02	4.66
6	Parque Nueva Loja		-76.894745°	5.48	0.3	4.95	3.43
7	Calle Tungurahua		-76.898420°	5.44	0.4	6.39	4.65
8	Barrio Calderón		-76.896360°	5.16	0.3	6.85	4.28
9	Terminal Terrestre		-76.889480°	6.01	0.2	9.36	2.28
10	Parque de la Madre		-76.886030°	5.92	0.7	10.0	3.72
11	San Francisco		-76.883250°	5.55	0.1	4.93	2.63
12	Presidente Roldós		-76.885270°	5.41	0.3	5.44	2.13
13	Plaza Cívica		-76.886510°	5.48	0.2	5.10	3.90
14	Barrio 4 de Junio		-76.888490°	6.45	0.2	7.46	2.19
15	Vía San Vicente		-76.882700°	5.32	0.4	7.04	4.86
16	Barrio San Valentín		-76.875340°	5.37	0.4	6.56	4.40
17	Aeropuerto		-76.861610°	5.59	0.3	5.88	4.46
18	Barrio Petrolero		-76.883460°	5.84	0.3	3.34	2.18
19	Barrio Estrella del Oriente		-76.883940°	5.22	0.2	6.08	4.16
20	Barrio el Paraíso		-76.887985°	6.13	0.7	19.7	13.42
21	Barrio Los Vencedores (SS)		-76.892100°	4.81	0.3	9.05	2.98
22	UEA-Sucumbíos		-76.872110°	5.24	0.3	6.45	3.31
23	Barrio La Pampa		-76.879630°	5.74	0.3	5.73	2.07

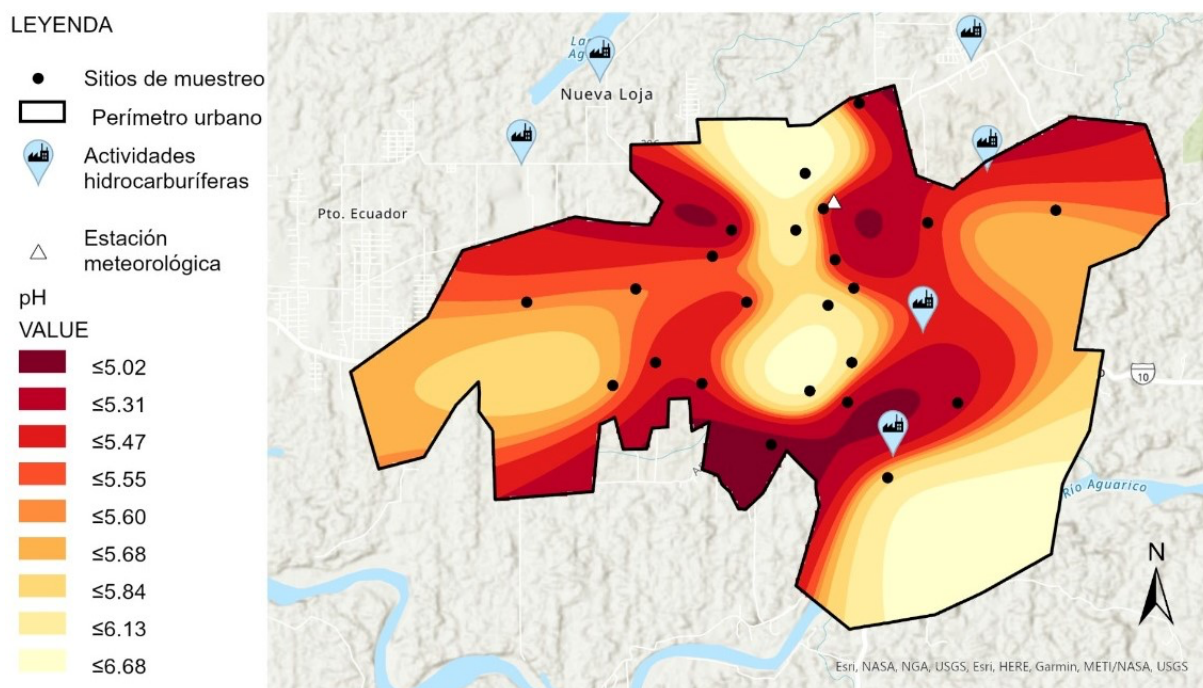


Figura 3. Gráfico de contorno de pH del agua de lluvia en la zona urbana de Nueva Loja.

3.2. Análisis de conductividad

Los valores de conductividad en el agua de lluvia fueron muy variables, incluso en el mismo sitio de muestreo (ver tabla 1). El coeficiente de variación en los mismos sitios, en promedio, fue del 58 %; mientras que entre diferentes sitios fue del 46 %. La media de la conductividad más baja fue 3.34 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y la media más alta fue 19.76 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los valores de este parámetro en los sitios analizados son bajos en comparación con otros estudios. Autores como Flores y Bonilla [34] reportaron valores máximos de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en las lluvias de la ciudad de Quito en un estudio de duración de dos meses; Burbano y Figueroa [35] reportaron valores máximos de 75.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Popayán-Colombia durante un estudio de seis meses; y Zhang *et al.* [10] encontraron conductividades máximas en torno a 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en precipitaciones del este de China en un periodo de cinco años. Debido a que la conductividad está relacionada con la cantidad de iones presentes en el agua de lluvia, se sugiere que el aire en Nueva Loja contiene una cantidad baja de contaminantes.

En la figura 4, se observa el gráfico de contorno de conductividad que resulta de la interpolación *spline*, ésta revela que el centro de la ciudad presenta valores más altos de este parámetro. En los sitios estudiados no se encontró alguna correlación estadística entre los datos experimentales de pH y conductividad, no obstante, en la zona céntrica de la ciudad (p9, p10, p14 y p20) donde se encontraron lluvias no ácidas, se observaron valores de conductividad más altos, por lo que se considera que sus lluvias contienen una mayor cantidad de sales producidas por neutralización. La acidez ligera y la conductividad baja de la lluvia en Nueva Loja, puede deberse a la limpieza natural de la atmósfera que realizan las fuertes lluvias que se presentan en la zona durante todo el año [33] como resultado de la constante evapotranspiración vegetal y evaporación de fuentes hídricas. Las altas precipitaciones también provocan que los suelos sean húmedos, lo que impide que sus partículas se incorporen al aire fácilmente.

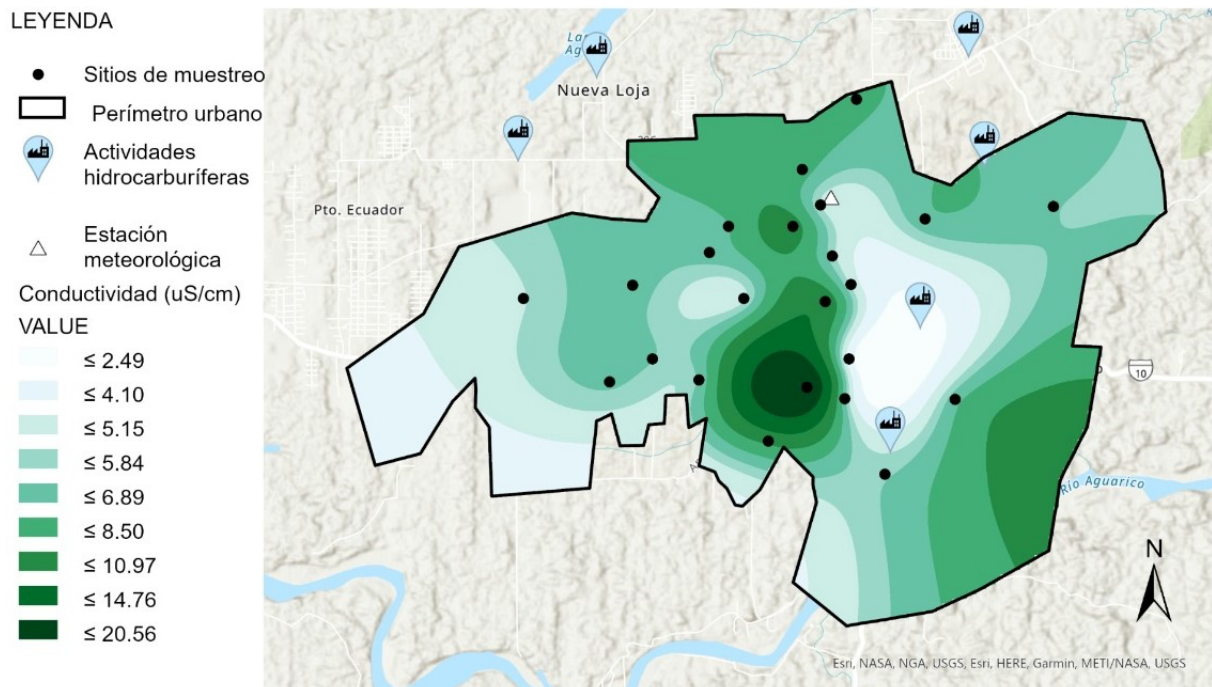


Figura 4. Gráfico de contorno de conductividad del agua de lluvia en la zona urbana de Nueva Loja.

Es importante considerar que las características de las lluvias pueden variar de acuerdo a las condiciones meteorológicas tales como la pluviosidad (que influye en la concentración de contaminantes), la dirección del viento (que modifica el transporte), la proporción entre iones y el tamaño de partícula [36]. En la figura 5, se presenta un diagrama de rosa de los vientos en Nueva Loja dentro del tiempo de estudio, en ésta se observa que los vientos predominantes seguían direcciones hacia el S y el E. La velocidad promedio registrada fue de 3.1 km/h y calma del 2 %, por lo que pueden clasificarse como vientos suaves. La velocidad de estos vientos están dentro del rango de velocidades más bajas dentro del territorio nacional [37]. No obstante, estos vientos pueden mover por varios kilómetros las especies ácidas originadas en áreas urbanas, afectando los bosques y recursos hídricos en la Amazonía. Esto puede afectar la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos, principalmente para los grupos étnicos al ser más proclives al consumo de agua de lluvia ácida o de esteros contaminados. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [38] recomienda que los valores de pH para el agua de consumo estén entre 6.5 y 8.

Las actividades relacionadas con la explotación y transporte de crudo, pueden ser las principales causas de lluvia ácida, principalmente la combustión de gases. No obstante, factores como el cambio del uso de suelo, fenómenos naturales y el crecimiento vehicular, tienen un aporte importante en el deterioro de la calidad del aire, los recursos forestales y paisajísticos. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [39], entre 2008 y 2018, en la provincia de Sucumbíos el número de vehículos se ha quintuplicado, siendo esta la provincia de mayor cantidad y crecimiento vehicular en la región Amazónica. De esta manera, es evidente la necesidad de incorporar estudios detallados de la lluvia ácida en Nueva Loja que periódicamente puedan ser aplicados y complementados con estudios de calidad de aire, salud humana, flora y fauna en otras localidades amazónicas.

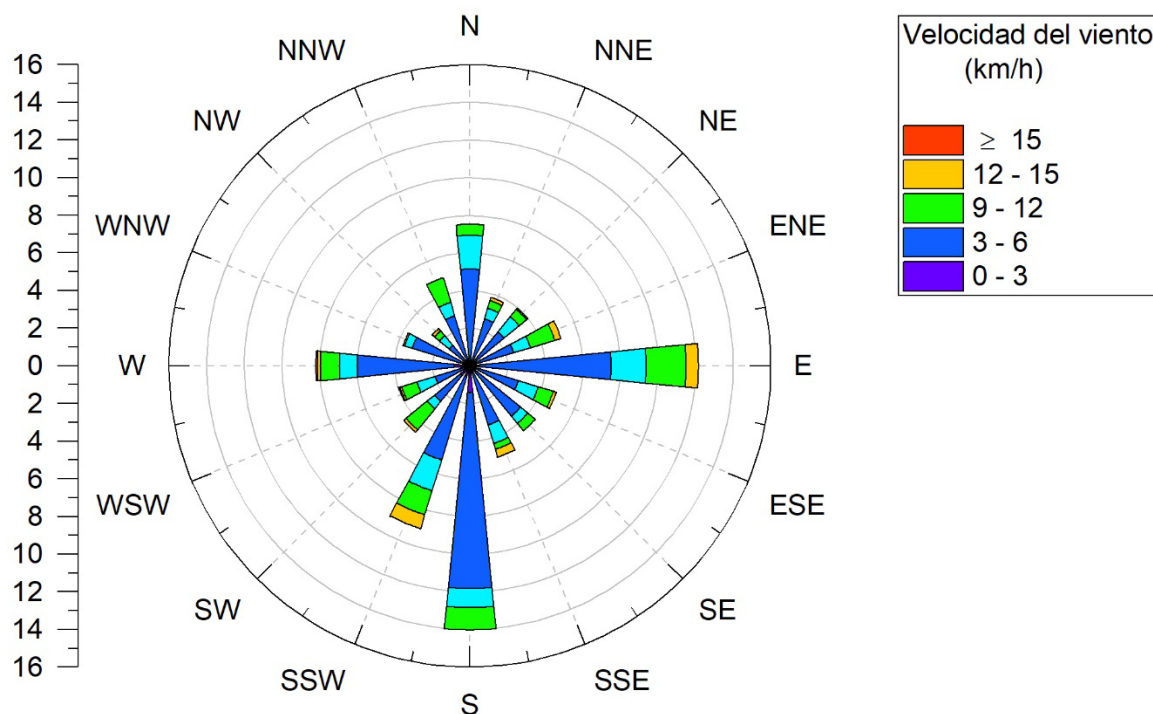


Figura 5. Rosa de los vientos para los meses de mayo y junio de 2019 en Nueva Loja [29].

4. Conclusiones

El estudio demostró que la mayoría de los sitios examinados en Nueva Loja presentaron lluvia ligeramente ácida y que estos sitios se ubican cerca de lugares donde se realizan actividades de explotación y transporte de crudo. Las conductividades en los sitios analizados son bajas, lo que indica que el aire presenta una cantidad baja de iones contaminantes disueltos. Las lluvias ligeramente ácidas y con baja conductividad se deben a las abundantes precipitaciones que se presentan en la ciudad, las cuales son importantes para el proceso de limpieza natural de la atmósfera.

El monitoreo de lluvia ácida es importante para identificar contaminación atmosférica por óxidos de azufre y de nitrógeno que son los contaminantes primarios. Las lluvias ácidas pueden intensificarse debido al existente crecimiento vehicular y poblacional en la urbe, y eventualmente pueden influir negativamente en la biodiversidad de los bosques y áreas protegidas que existen en la provincia de Sucumbíos. La información obtenida en esta investigación puede emplearse como una línea base para efectuar futuras investigaciones durante periodos de tiempo más extensos y que también involucren la medición de aniones y cationes que ayuden a la cuantificación de partículas presentes en la atmósfera.

Finalmente, los autores consideran importante mencionar que es trascendental la captación y procesamiento de datos meteorológicos en un estudio de lluvia ácida. La provincia de Sucumbíos, así como toda la Amazonía ecuatoriana, alojan estaciones meteorológicas muy dispersas o escasas que dificultan estudiar con mayor detalle el transporte de los contaminantes primarios del aire y por ende el comportamiento del fenómeno de la lluvia ácida. Así también, es necesario destacar la importancia de mayores períodos en la recolección de muestras, a fin de conocer de manera precisa la evolución de la lluvia ácida en la ciudad. Estas limitaciones, a la vez motivan y hacen necesario el continuar con el monitoreo y muestreo prolongado de las precipitaciones en la ciudad de Nueva Loja y sus alrededores. Como perspectiva adicional está el extender el estudio a diferentes zonas

de la región Amazónica y relacionar los sitios con mayor prevalencia de lluvia ácida con indicadores biológicos, como los anfibios que son muy sensibles a los cambios de pH, entre otras

Contribución de autores: Los autores contribuyeron en todos los apartados investigativos.

Financiamiento: Los autores agradecen a la Universidad Estatal Amazónica y a sus autoridades por el apoyo brindado para la realización de esta investigación.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

1. Bayón, M.; Durán, G.; Bonilla, A.; Zárate, D.; González, J.; Araujo, M.; Villavicencio, J. Lago Agrio: Barrios petroleros en el casco urbano que claman por sus derechos. *FLACSO Ecuador* **2020**.
2. Wasserstrom, R.; Reider, S.; Lara, R. Nobody knew their names: The black legend of tetete extermination. *Ethnohistory* **2011**, *58*, 421–444, doi:10.1215/00141801-1263848.
3. Erazo Chalco, N.P. La red urbana amazónica: análisis multiescalar de la dinámica de urbanización [Tesis de maestría, Flacso Ecuador]. **2017**.
4. Coronel Vargas, G.; Au, W.W.; Izzotti, A. Public health issues from crude-oil production in the Ecuadorian Amazon territories. *Sci. Total Environ.* **2020**, *719*, 134647, doi:10.1016/J.SCITOTENV.2019.134647.
5. Barraza, F.; Maurice, L.; Uzu, G.; Becerra, S.; López, F.; Ochoa-Herrera, V.; Ruales, J.; Schreck, E. Distribution, contents and health risk assessment of metal(loid)s in small-scale farms in the Ecuadorian Amazon: An insight into impacts of oil activities. *Sci. Total Environ.* **2018**, *622–623*, 106–120, doi:10.1016/J.SCITOTENV.2017.11.246.
6. Durango-Cordero, J.; Saqalli, M.; Laplanche, C.; Locquet, M.; Elger, A. Spatial Analysis of Accidental Oil Spills Using Heterogeneous Data: A Case Study from the North-Eastern Ecuadorian Amazon. *Sustain.* **2018**, Vol. 10, Page 4719 **2018**, *10*, 4719, doi:10.3390/SU10124719.
7. Weathers, K.C.; Strayer, D.L.; Likens, G.E. *Fundamentals of ecosystem science*; Academic Press, 2012;
8. Manahan, S.E. *Environmental chemistry*, 10a ed.; CRC Press, 2017;
9. Seinfeld, J.H.; Pandis, S.N. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 3a ed.; John Wiley and Sons, 2016;
10. Zhang, G.; Liu, D.; He, X.; Yu, D.; Pu, M. Acid rain in Jiangsu province, eastern China: Tempo-spatial variations features and analysis. *Atmos. Pollut. Res.* **2017**, *8*, 1031–1043, doi:10.1016/J.APR.2017.02.001.
11. Bashkin, V.N. *Environmental Chemistry: Asian Lessons*; Springer, 2003;
12. Mainville, N.; Webb, J.; Lucotte, M.; Davidson, R.; Betancourt, O.; Cueva, E.; Mergler, D. Decrease of soil fertility and release of mercury following deforestation in the Andean Amazon, Napo River Valley, Ecuador. *Sci. Total Environ.* **2006**, *368*, 88–98, doi:10.1016/J.SCITOTENV.2005.09.064.
13. Liu, X.; Zhang, B.; Zhao, W.; Wang, L.; Xie, D.; Huo, W.; Wu, Y.; Zhang, J. Comparative effects of sulfuric and nitric acid rain on litter decomposition and soil microbial community in subtropical plantation of Yangtze River Delta region. *Sci. Total Environ.* **2017**, *601–602*, 669–678, doi:10.1016/J.SCITOTENV.2017.05.151.
14. Granados Sánchez, D.; López Ríos, G.F.; Hernández García, M.Á. La lluvia ácida y los ecosistemas forestales. *Rev. Chapingo Ser. ciencias For. y del Ambient.* **2010**, *16*, 187–206, doi:10.5154/R.RCHSCFA.2010.04.022.
15. Wei, H.; Liu, W.; Zhang, J.; Qin, Z. Effects of simulated acid rain on soil fauna community composition and their ecological niches. *Environ. Pollut.* **2017**, *220*, 460–468, doi:10.1016/J.ENVPOL.2016.09.088.
16. Henao Muñoz, L.; Bernal Bautista, M. Tolerancia al pH en embriones y renacuajos de cuatro especies de anuros colombianos. *Rev. la Acad. Colomb. Ciencias Exactas, Físicas y Nat.* **2011**, *35*, 105–110.
17. Freda, J. The influence of acidic pond water on amphibians: A review. *Water, Air, Soil Pollut.* **1986**, *301* **1986**, *30*, 439–450, doi:10.1007/BF00305213.
18. Marco, A.; Quilchano, C.; Blaustein, A.R. Sensitivity to nitrate and nitrite in pond-breeding amphibians

- from the Pacific Northwest, USA. *Environ. Toxicol. Chem.* **1999**, *18*, 2836–2839, doi:10.1002/ETC.5620181225.
19. Rouse, J.D.; Bishop, C.A.; Struger, J. Nitrogen pollution: an assessment of its threat to amphibian survival. *Environ. Health Perspect.* **1999**, *107*, 799, doi:10.1289/EHP.99107799.
 20. Bioweb Anfíbios del Ecuador. Diversidad y Biogeografía Disponible en: <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/DiversidadBiogeografia>.
 21. Climate-Data.org Clima: Ecuador Disponible en: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador-63/>.
 22. Najjuma, Z. Evaluation of accuracy and precision of farmer reported field area using a mobile device application in three agro-ecological zones of Uganda [Tesis de grado, Makerere University]. **2018**.
 23. Mestre, L.; Rechetelo, J. The use of smart-phones GPS application to improve GIS classes in South Brazil. *Congr. GKA, [2019] Congr. Int. Tecnol. en la Educ.* **2019**.
 24. GLOBE Precipitation Protocols Disponible en: <https://www.globe.gov/documents/348614/348678/Precipitation/97b9939c-7fb5-4b12-8113-59f988781bf5>.
 25. OpenStreetMap OpenStreetMap Disponible en: <https://www.openstreetmap.org/search?query=nueva+loja#map=11/0.1298/-76.9050>.
 26. Deligiorgi, D.; Philippopoulos, K. Spatial Interpolation Methodologies in Urban Air Pollution Modeling: Application for the Greater Area of Metropolitan Athens, Greece. En *Advanced Air Pollution*; Farhad Nejadkoorki, IntechOpen, 2011.
 27. GisResources Types of interpolation methods Disponible en: https://gisresources.com/types-interpolation-methods_3/.
 28. Wong, D.W.; Yuan, L.; Perlin, S.A. Comparison of spatial interpolation methods for the estimation of air quality data. *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.* **2004**, *14*, 404–415, doi:10.1038/SJ.JEA.7500338.
 29. DGAC Listado Mensual de Dirección-Velocidad del Viento. *Dir. Gen. Aviac. Civ.* **2019**.
 30. Sosa-Echeverría, R.; Bravo-Álvarez, H.; Alarcón-Jiménez, A.L.; Torres-Barrera, M. del C.; Jaimes-Palomera, M.; Sánchez-Álvarez, P.; Granados-Hernández, E. Acid rain in a Mexican site on the coast of the Gulf of Mexico. *Atmósfera* **2018**, *31*, 317–330, doi:10.20937/ATM.2018.31.04.01.
 31. Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables Plan nacional de desarrollo del sector minero 2020–2030. **2020**.
 32. Agrocalidad Unidades de Producción Certificadas con Buenas Prácticas Pecuarias. **2020**.
 33. GADMLA Actualización Del Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial. *Gob. Autónomo Descent. Munic. del Cantón Lago Agrio* **2019**.
 34. Flores, R.; Bonilla, P. Perfil de la Lluvia Ácida en la Ciudad de Quito (Ecuador) Durante los Meses de Diciembre–2008 y Enero–2009. *Química Cent.* **2010**, *1*, 27–34, doi:10.29166/quimica.v1i1.1192.
 35. Burbano, M.; Figueroa, A. Variabilidad espacio-temporal de aniones (SO₄²⁻ y Cl⁻) en el agua lluvia de Popayán, Colombia. *Rev. Ing. Univ. Medellín* **2015**, *14*, 13–27.
 36. Beverland, I.J.; Crowther, J.M.; Srinivas, M.S.N.; Heal, M.R. The influence of meteorology and atmospheric transport patterns on the chemical composition of rainfall in south-east England. *Atmos. Environ.* **1998**, *32*, 1039–1048, doi:10.1016/S1352-2310(97)00365-8.
 37. Posso, F.; Sánchez, J.; Espinoza, J.; Siguencia, J. Preliminary estimation of electrolytic hydrogen production potential from renewable energies in Ecuador. *Int. J. Hydrogen Energy* **2015**, *41*, doi:10.1016/j.ijhydene.2015.11.155.
 38. EPA Drinking Water Regulations and Contaminants. *United States Environ. Prot. Agency* **2021**.
 39. INEC Estadísticas de transporte 2018. *Inst. Nac. Estadísticas y Censos* **2018**.

Reseña de los autores:



Pablo D. Carrera Oscullo. Químico Puro por la Universidad Central del Ecuador y Magíster en Ciencias Químicas por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Docente de la Universidad Estatal Amazónica, Sede Sucumbíos.



Lenin Stalin Vaca Álvarez. Químico Farmacéutico por la Universidad Central del Ecuador y Magíster en Seguridad y Prevención de Riesgos del Trabajo por la Universidad Tecnológica Equinoccial. En la actualidad se desempeña como docente de la Universidad Estatal Amazónica, Sede Sucumbíos.



Edison Oliver Segura Chávez. Magíster en Educación Matemática por la Universidad Nacional de Chimborazo y Doctor en Ciencias Veterinarias por la Universidad Agraria de la Habana. Docente titular de la Universidad Estatal Amazónica.



Miguel Ángel Taco Ugsha . Químico Puro por la Universidad Central del Ecuador y Magíster en Ingeniería Ambiental por la Escuela Politécnica Nacional. En la actualidad es docente de la Universidad Internacional del Ecuador..



© 2021 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>