



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Ambiental

Análisis de nitratos y sulfatos presentes en agua de lluvia en dos zonas urbanas de alto tráfico vehicular de la ciudad de Loja

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Richard Fernando Loja Astudillo

DIRECTOR:

Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo., Msc

Loja – Ecuador

2024



Universidad
Nacional
de Loja

Sistema de Información Académico
Administrativo y Financiero - SIAAF

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **Erasmus Vinicio Alvarado Jaramillo**, director del Trabajo de Integración Curricular denominado **Análisis de nitratos y sulfatos presentes en agua de lluvia en dos zonas urbanas de alto tráfico vehicular de la ciudad de Loja**, perteneciente al estudiante Richard Fernando Loja Astudillo, con cédula de identidad N° 1401064272. Certifico que luego de haber dirigido el **Trabajo de Integración Curricular** se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Integración Curricular**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Integración Curricular del mencionado estudiante.

Loja, 7 de agosto de 2024

F) -----
DIRECTOR  ERASMO VINICIO
ALVARADO
JARAMILLO
DIRECTOR DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR

Autoría

Loja, 24 de febrero del 2025

Yo, Richard Fernando Loja Astudillo, declaro ser autor del presente trabajo de integración curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo de integración curricular en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.



Autor: Richard Fernando Loja Astudillo

Cédula: 1401064272

Dirección: Calles Cuenca y Eloy Alfaro, Gualaquiza - Morona Santiago

Correo electrónico: richard.loja@unl.edu.ec – richardfer421@hotmail.com

Celular: 0990322975

Carta de autorización del trabajo de integración curricular por parte del autor para la consulta de producción parcial o total, y publicación electrónica del texto completo

Yo Richard Fernando Loja Astudillo, declaro ser autor del trabajo de integración curricular titulado **Análisis de nitratos y sulfatos presentes en agua de lluvia en dos zonas urbanas de alto tráfico vehicular de la ciudad de Loja** como requisito para optar el título de Ingeniero Ambiental, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de integración curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los 5 del mes agosto del dos mil veinte y cuatro.



Autor: Richard Fernando Loja Astudillo

Cédula: 1401064272

Dirección: Calles Cuenca y Eloy Alfaro, Gualaquiza - Morona Santiago

Correo electrónico: richard.loja@unl.edu.ec

Teléfono: NA

Celular: 0990322975

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del trabajo de integración curricular: Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo, Msc

Agradecimiento

A mis padres que, con su esfuerzo, con su fe y perseverancia me apoyaron en los momentos más difíciles y supieron darme fuerza para poder seguir adelante, a mi hermano por darme apoyo durante toda la carrera.

Queriendo expresar de igual manera con mis más sentidos agradecimientos a esos compañeros que se esforzaron junto a mí, a los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental por guiarnos en esta etapa de nuestras vidas formándonos y compartiendo sus experiencias de vida. Al ing. Erasmo Vinicio Alvarado, Msc. Docente y director de mi trabajo de integración curricular, por su apoyo y consejos durante este trabajo, a la Ing. Raquel Hernández, Ph.D. y la Eco. Katusca Valarezo, Msc. Por su ayuda y orientación durante el desarrollo de la presente investigación.

Richard Fernando Loja Astudillo

Dedicatoria

Dedico este trabajo, a mi padre y a mi madre que, por medio de su sacrificio, tiempo y apoyo incondicional, me ayudaron a guiar mi camino y cumplir mis proyectos de vida.

A mi hermano de igual manera, me apoyo en los momentos más difíciles durante esta travesía.

A mis compañeros y ahora amigos, que en el transcurso de esta etapa de vida fueron pilares fundamentales en el crecimiento personal y académico, a quienes les deseo éxitos en su futura vida laboral.

Richard Fernando Loja Astudillo.

Índice de contenidos

Certificación de dirección del trabajo de integración curricular	ii
Carta de autorización del trabajo de integración curricular por parte del autor para la consulta de producción parcial o total, y publicación electrónica del texto completo	iv
Agradecimiento.....	v
Dedicatoria.....	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xi
Índice de anexos.....	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción.....	4
4. Marco Teórico	8
4.1. Precipitaciones y su importancia	8
4.2. Variables meteorológicas y Físicoquímicas.....	10
4.3. Lluvia ácida.....	12
4.4. Análisis de Alcalinidad.....	14
4.5. Ensayos por espectrofotometría.....	15
5. Metodología.....	16
5.1. Área de estudio	16
5.2. Puntos de monitoreo.....	16
5.3. Número de muestras	17
5.4. Medición de variables meteorológicas.....	18

5.5.	Inventario del tráfico vehicular	19
5.6.	Toma de muestras de agua lluvia.....	19
5.7.	Análisis de laboratorio	20
5.7.1.	Análisis de pH y conductividad.....	21
5.7.2.	Ensayo de alcalinidad por método potenciométrico	21
5.7.3.	Análisis espectrofotométrico	24
5.8.	Análisis de datos	25
5.8.1.	Medidas de tendencia central.....	25
5.8.2.	Pruebas estadísticas.....	25
5.8.3.	Pruebas de Correlación	26
5.8.4.	Remuestreo Bootstrap.....	26
6.	Resultados	27
6.1.	Variables meteorológicas.....	27
6.1.1.	Precipitaciones	27
6.1.2.	Temperatura	28
6.1.3.	Dirección y velocidad del viento.....	29
6.1.4.	Variación temporal del clima	30
6.2.	Inventario de Tráfico Vehicular	31
6.3.	Análisis de las muestras de agua.....	33
6.3.1.	Análisis del pH.....	33
6.3.2.	Análisis de conductividad	34
6.3.3.	Análisis de concentración de nitratos	35
6.3.4.	Análisis de concentración de sulfatos	36
6.3.5.	Análisis de alcalinidad	36
6.4.	Análisis de variaciones temporales	37

6.4.1.	Variación temporal del tráfico vehicular entre pH y los nitratos.....	37
6.4.2.	Variación temporal de las precipitaciones entre el pH y los nitratos.....	39
6.5.	Análisis correlacionales.....	41
6.5.1.	Correlación entre pH y Nitratos	42
6.5.2.	Correlación entre Conductividad y Nitratos	42
6.5.3.	Correlación entre Vehículos y Nitratos	43
6.5.4.	Correlación con datos de remuestreo por Bootstrap	44
7.	Discusión	46
8.	Conclusiones	55
9.	Recomendaciones	56
10.	Bibliografía	57
11.	Anexos	66

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación del agua lluvia de acuerdo con el pH	13
Tabla 2. Coordenadas de los puntos de monitoreo.....	16
Tabla 3. Rangos de alcalinidad del agua	24
Tabla 4. Resultados de los ensayos de alcalinidad (mg de CaCO_3/l).....	36
Tabla 5. Correlación entre pH y nitratos	42
Tabla 6. Correlación entre Conductividad y nitratos	43
Tabla 7. Correlación entre tipos de vehículos y nitratos	43
Tabla 8. Comparación de coeficientes de correlación pH-Nitrato y Conductividad-Nitrato..	44
Tabla 9. Comparación de coeficientes de correlación Vehículos-Nitratos	45

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación de puntos de monitoreo de concentración de nitratos y sulfatos en el agua de lluvia, en la zona urbana de la ciudad de Loja	17
Figura 2. Punto de mediatriz para la ubicación de la estación meteorológica	19
Figura 3. Boxplot de las precipitaciones por mes en la ciudad de Loja.....	28
Figura 4. Boxplot de la temperatura por mes en la ciudad de Loja	28
Figura 5. Boxplot de la velocidad del viento por mes en la ciudad de Loja	29
Figura 6. Rosa de los vientos del centro de la ciudad de Loja	30
Figura 7. Variación temporal del clima entre el mes de marzo y mayo del 2024.....	30
Figura 8. Tipo de vehículos contabilizados en cada sector según su horario	32
Figura 9. Boxplot del pH por cada sector de alto y mediano tráfico vehicular en la ciudad de Loja.....	33
Figura 10. Grafica boxplot de la conductividad en cada sector	34
Figura 11. Concentración de nitratos en los tres sectores de alto y mediano tráfico vehicular en la ciudad de Loja	35
Figura 12. Variabilidad temporal en la Terminal terrestre del tráfico vehicular con el pH y los nitratos	37
Figura 13. Variabilidad temporal en la “Bomba Quemada” del tráfico vehicular con el pH y los nitratos	38
Figura 14. Variabilidad temporal en el barrio Zamora Huayco del tráfico vehicular con el pH y los nitratos.	39
Figura 15. Variabilidad temporal en la Terminal Terrestre de las precipitaciones con el pH y los nitratos	40
Figura 16. Variabilidad temporal en la “Bomba Quemada” de las precipitaciones con el pH y los nitratos	40
Figura 17. Variabilidad temporal en la “Bomba Quemada” de las precipitaciones con el pH y los nitratos	41

Índice de anexos

Anexo 1. Certificado de traducción del resumen	66
Anexo 2. Parque automotor por el Centro de Matriculación Vehicular de la ciudad de Loja .	67
Anexo 3. Mapa de los puntos de monitoreo del estudio	71
Anexo 4. Mapa del punto de mediatriz para la ubicación de la estación meteorológica	72
Anexo 5. Instalación de la estación meteorológica.....	72
Anexo 6. Grabación del conteo vehicular en la zona de la “Bomba Quemada”.....	73
Anexo 7. Trípode usado para la recolección de muestras del agua de lluvia	73
Anexo 8. Toma de las muestras de agua lluvia en las tres zonas de monitoreo	73
Anexo 9. Análisis de pH y conductividad.....	74
Anexo 10. Ensayo de alcalinidad	74
Anexo 11. Cálculo de equivalente químico gramo	75
Anexo 12. Cálculo del volumen de ácido sulfúrico para una disolución a 0,1 normal.....	75
Anexo 13. Cálculo de la normalidad del ácido estándar	75
Anexo 14. Análisis espectro fotométrico	76
Anexo 15. Tabla Resumen de promedios de las Variables meteorológicas del estudio	76
Anexo 16. Rosa de los vientos de marzo de 2024	77
Anexo 17. Rosa de los vientos de abril de 2024	78
Anexo 18. Rosa de los vientos de mayo de 2024.....	79
Anexo 19. Inventario de tráfico vehicular en los tres sectores desde las 08H00 a 09H00 del año 2024.....	80
Anexo 20. Inventario de tráfico vehicular en los tres sectores desde las 12H00 a 13H00 del año 2024.....	83
Anexo 21. Inventario de tráfico vehicular en los tres sectores desde las 18H00 a 19H00 del año 2024.....	86
Anexo 22. Promedio del tráfico vehicular en los tres sectores de 08H00 a 09H00.....	89
Anexo 23. Promedio del tráfico vehicular en los tres sectores de 12H00 a 13H00.....	89
Anexo 24. Promedio del tráfico vehicular en los tres sectores de 12H00 a 13H00.....	90
Anexo 25. Concentración de nitratos en el agua de lluvia de los tres sectores.....	90
Anexo 26. Concentración de sulfatos en el agua de lluvia de los tres sectores	91
Anexo 27. Nivel de pH de los tres sectores de la ciudad de Loja	91
Anexo 28. Conductividad de los tres sectores de la ciudad de Loja.....	92

1. Título

Análisis de nitratos y sulfatos presentes en agua de lluvia en dos zonas urbanas de alto tráfico vehicular de la ciudad de Loja

2. Resumen

En la siguiente investigación se determinó la composición del agua de lluvia en la zona urbana de la ciudad de Loja, para comprobar si los nitratos y sulfatos que se emiten por medio del parque automotor están influyendo con la acidificación de la lluvia. En el estudio se analizó las muestras de agua lluvia recolectadas en los meses de marzo a mayo del 2024 por medio de recipientes recolectores a un metro de altura posicionados en la ciudad, para determinar el pH, conductividad, alcalinidad, concentraciones de nitratos y sulfatos en tres sectores urbanos, con respecto a las condiciones meteorológicas y el tráfico vehicular de la ciudad. Se analizaron las variables metrológicas por medio de una estación instalada en el centro urbano, se desarrolló un inventario de tráfico vehicular en diferentes horarios pico con una clasificación del tipo de vehículo en los tres sectores, y se determinó los parámetros físico-químicos del agua de lluvia y las contracciones de nitratos y sulfatos por medio de espectrofotometría en laboratorio. Las condiciones meteorológicas en la ciudad fueron analizadas para comprender la dinámica del clima de la ciudad, por otro lado, se demostró que el tráfico vehicular más frecuente en los tres sectores fue del tipo liviano, y al final se evidenció en los dos sectores con alto tráfico vehicular una relación entre el aumento de los nitratos y la reducción del pH, el sector de bajo tráfico presentó una situación anormal determinando una relación directa en el aumento de los nitratos y el pH. Las concentraciones de nitratos y sulfatos en la composición del agua son bajas y no producen lluvia ácida en los tres sectores urbanos de la ciudad de Loja.

Palabras clave: Alcalinidad, Acidificación, Contaminación, Precipitación, Tráfico Vehicular.

2.1. Abstract

In the following research, the composition of rainwater in the urban area of the city of Loja was determined to verify whether the nitrates and sulfates emitted by the vehicle fleet are influencing rain acidification. The study analyzed rainwater samples collected in the months of March to May 2024 by means of collecting containers at one meter height positioned in the city, to determine the pH, conductivity, alkalinity, concentrations of nitrates and sulfates in three urban sectors, with respect to the city's weather conditions and vehicle traffic. The metrological variables were analyzed by means of a station installed in the urban center, an inventory of vehicular traffic at different peak times was developed with a classification of the type of vehicle in the three sectors, and it was determined the physical-chemical parameters of rain water and nitrate and sulphate concentrations by laboratory spectrophotometry. The weather conditions in the city were analyzed to understand the dynamics of the city's climate, on the other hand, it was shown that the most frequent vehicular traffic in the three sectors was of the light type, and in the end a relationship was found between the increase of nitrates and the reduction of pH in both sectors with high vehicular traffic, the low traffic sector presented an abnormal situation determining a direct relationship in the increase of nitrates and pH. The concentrations of nitrates and sulfates in the water composition are low and do not produce acid rain in the three urban sectors of the city of Loja.

Keywords: Alkalinity, Acidification, Pollution, Precipitation, Vehicular Traffic.

3. Introducción

La contaminación del aire es uno de los problemas más comunes en las zonas urbanas, por la cantidad de emisiones de aerosoles, gases, polvo y vapores provenientes de las actividades productivas de estas ciudades (Mayorga et al., 2020), lo que resulta en diferentes afectaciones tanto a la población como al ambiente.

Uno de los problemas generados por la contaminación del aire es la lluvia ácida, este fenómeno fue descubierto por el químico escocés Robert Angus Smith, en 1852 en la revolución industrial, tomando en cuenta la relación entre las emisiones de contaminantes presentes con las precipitaciones en la ciudad de Manchester, Inglaterra (Seinfeld y Pandis, 2016 en Barreto, 2019). Para López et al. (2014), históricamente los principales precursores de la acidez de la lluvia son el dióxido de nitrógeno (NO_2) y dióxido de azufre (SO_2), que por medio de reacciones de oxidación y la disolución con el agua de la atmósfera forman precipitados de ácido nítrico (HNO_3) y ácido sulfúrico (H_2SO_4).

La lluvia ácida puede tener efectos negativos en los ecosistemas (Flores y Bonilla, 2009) y específicamente en el recurso hídrico tiene la capacidad de acidificar los lechos de los ríos. En el suelo, se da un aumento en la biodisponibilidad de metales pesados. Según el estudio de Leyva y Castillo (2022), la acidez del suelo facilita la solubilidad y movilización de metales como el aluminio, hierro y manganeso. La lluvia ácida provoca la disminución del proceso fotosintético en la flora (Granados et al., 2010), ralentizando este proceso biológico, aunque también se ha registrado una modificación en la actividad de las enzimas, lo que conlleva a una reducción en la productividad de lípidos, proteínas y carbohidratos. En el caso de la salud humana, existen varios riesgos potenciales a la exposición continua de los principales acidificantes que están presentes en la composición del agua (Oduber, 2022).

Este fenómeno es un problema aún mayor en las zonas urbanas e industriales, por la emisión de dióxido de nitrógeno (NO_2) y dióxido de azufre (SO_2) que son emanadas por diversas actividades que requieren de quema o del uso de combustibles fósiles. Según Hurtubia (2019), la quema de combustibles es el causante del 85 % de la contaminación atmosférica debido al transporte de partículas en el viento, de forma general estas emisiones son causantes de diversos problemas de contaminación en las ciudades densamente pobladas ocasionando fenómenos como la lluvia ácida.

Tal es el caso de Ecuador, aunque este tipo de investigaciones todavía son escasas, se conoce que en Quito el 50 % de las muestras de la lluvia presentaron acidez (Flores y Bonilla, 2009). De igual forma, Carrera et al. (2021), reportaron que 15 de 23 zonas las lluvias presentaron una ligera acidez en Nueva Loja, provincia de Sucumbíos, debido principalmente al parque automotor y a la presencia de chimeneas petroleras en la zona.

De igual manera para Ospina y Ramírez (2014) nos asegura que el parque automotor es el principal factor antropogénico de emisiones de gases contaminantes presente en las ciudades, esto por el uso de diferentes combustibles para su funcionamiento y prestación de servicios a la población, en que se relaciona las emisiones de gases de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. Con estos antecedentes se puede establecer que las fuentes emisiones principales de la ciudad de Loja está comprendida por el parque automotor y se relaciona con la concentración de los nitratos (NO_3^-) y sulfatos (SO_3^{2-}).

Para Antamba et al. (2016), el uso de vehículos de motor puede generar contaminantes en las zonas urbanas, esto depende de las condiciones y las operaciones sometidas a los vehículos, lo cual corresponde a la única fuente de emisiones en la ciudad de Loja por el transporte privado y público demandante. Se puede establecer que el parque automotor de la ciudad en el año 2022 fue 26 813 vehículos, para el año 2023 fue de 38 206 vehículos y para el

2024 existieron alrededor de 31 071 esto según el Centro de Matriculación Vehicular de la ciudad de Loja (Gobierno Autónomo Descentralizado de Loja, 2025).

Esta investigación se basó en determinar la relación de la acidez en la lluvia con las emisiones de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre del parque automotor conforme a las condiciones meteorológicas en la ciudad de Loja, ubicada al sur de la República del Ecuador, cuya población para el 2022 asciende a 250 028 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2022) y es de suponerse que un alto porcentaje de éstas dispondrán de vehículos livianos, de propiedad individual.

Al no existir estudios que relacionen la concentración de nitratos y sulfatos con el parque automotor en la mayoría de ciudades del país y menos en la ciudad de Loja, se vuelve necesario y urgente contar con este tipo de información. Estos resultados pueden ser usados como una línea base sobre esta temática y así contar con una metodología estandarizada y fácil para la colecta del agua de lluvia, tomando como base el protocolo del Programa Global Learning and Observations to Benefit the Environment (Globe, 2005). Por ello, se decidió realizar esta investigación dirigida a responder la siguiente pregunta ¿Existe concentraciones de nitratos y sulfatos en la composición de agua de lluvia en los tres puntos propuestos en las zonas urbanas de la ciudad de Loja?, considerando como hipótesis que “Las concentraciones de nitratos y sulfatos presentes en el agua de lluvia generan lluvia ácida en las tres zonas urbanas monitoreadas en la ciudad de Loja”.

Para ello se buscó determinar la presencia de nitratos y sulfatos en los tres puntos de monitoreo con tráfico vehicular de la zona urbana de la ciudad de Loja cumpliendo los siguientes objetivos específicos: i) Analizar las variables meteorológicas de los tres puntos de monitoreo establecidos en zonas urbanas de la ciudad de Loja, ii) Desarrollar un inventario de carga vehicular en horas pico en los tres puntos de monitoreo que presentan un mayor tráfico

vehicular de la ciudad de Loja, y iii) Analizar el pH, conductividad, alcalinidad y la presencia de nitratos y sulfatos en las muestras de agua lluvia en los puntos de monitoreo de la ciudad de Loja.

El estudio consideró dos puntos de alto tráfico vehicular reportado en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la ciudad de Loja (Gobierno Autónomo Descentralizado de Loja, 2019); uno ubicado en la intersección de la Avenida 8 de diciembre y la vía troncal de la Sierra a la altura del terminal terrestre “Reina del Cisne” y otro en el barrio “Las Peñas”, en la intersección de la Avenida Pío Jaramillo y calle Alonzo de Mercadillo específicamente al lado de la Estación de Servicio Gasosilva 2 conocida por el nombre de la “Bomba quemada”. Además, se consideró un punto en un sector con bajo flujo de vehículos (barrio “Zamora Huayco”) ubicado en la Avenida río Marañon y calle río Santiago, para Dermachi (2021) las zonas periféricas además de ser zonas alejadas de los centros urbanos estas tienen una baja movilidad del parque automotor. No obstante, para Quintero (2016) tanto los centros urbanos como las zonas periféricas tienden a estar vulnerables a la contaminación del aire y ruido de las actividades urbanas.

4. Marco Teórico

4.1. Precipitaciones y su importancia

La lluvia es uno de los hidrometeoros con mayor relevancia en el planeta, el cual no escapa de la contaminación antropogénica, por eso es de suma importancia su estudio por los efectos que causan en el ambiente (García et al., 2006). Este fenómeno intercede en procesos hidrológicos en los ecosistemas, por ejemplo: El transporte de solutos, iluviación, eluviación, infiltración-percolación, escorrentías superficiales, pseudogleyización y/o gleyización, además de la variación de la disponibilidad de agua para las plantas (Rodrigo et al., 2016). Sin embargo la composición química del agua ha recibido toda la atención mundial durante los últimos años, más en áreas con alto niveles de contaminación del aire (Obando, 2017), más aún si afecta a sistemas naturales y a la población humana.

En el estudio realizado por Díaz et al. (2014), en la ciudad de Culiacán, Sinaloa, al noroeste de México con valles agrícolas, litorales y serranos. Se monitorizó el agua lluvia para identificar si existe acidez en la composición del agua por la presencia del dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno, tomando en cuenta variables meteorológicas de precipitación, temperatura, dirección y velocidad del viento. Por otro lado, la existencia de un parque automotor con una cifra de 396 148 vehículos en el año 2010 y la creciente industria artesanal de las ladrilleras, sostienen que son las actividades que se desarrollan en la ciudad. En el monitoreo se analizaron nitratos, sulfatos y metales, el cual determinó que no se produce lluvia ácida ya que ninguna de las muestras tuvo un pH menor a 5, aunque en dos muestras tenían variaciones en nitratos y sulfatos, pero no descartan que se pueda producir el fenómeno a futuro dado al crecimiento acelerado del parque automotor.

Por otro lado, López et al. (2016), en su investigación en tres zonas de Cuba (La Palma, Casablanca y Veguitas), cuyo objetivo fue determinar la composición iónica de las lluvias asociadas a las variables de los tipos de situaciones sinópticas, concluyeron que en dos estaciones de La palma y en 4 estaciones de Casablanca se genera acidez, dado los valores de pH menor a 5,6 que refleja altas concentraciones de los sulfatos. Por su parte, en las Veguitas no reportaron acidez en la composición del agua, lo que lo atribuyen a la presencia de polvo y partículas de aerosoles con altas concentraciones de potasio que neutralizaron el agua lluvia.

En otra investigación sobre lluvia ácida en la ciudad de Nueva Loja, provincia de Sucumbíos, Ecuador (Carrera et al., 2021), se determinó la presencia de nitratos y sulfatos en 23 puntos de monitoreos, mismos que fueron seleccionados porque eran puntos de emisiones que pueden estar afectando la calidad del aire de la ciudad. El parque automotor es el principal emisor de contaminantes, además de los gases constantes del volcán Reventador y la quema de metano por parte de las petroleras cercanas a la urbe. En 18 de los 23 puntos se presentó una ligera acidez y una conductividad baja que puede ser previsto por las abundantes precipitaciones producidas en la ciudad.

En algunos estudios determinaron que la lluvia ácida puede ser neutralizada por varios elementos alcalinos que están presentes en el medio atmosférico como el material particulado o como aerosoles en algunos tipos de sales marinas. Barcelona et al. (2015), lo clasifican en tipos diferentes de emisiones de partículas como material particulado dependiendo de su origen:

- Provenientes del Suelo: Silicio, calcio, titanio y aluminio.
- Provenientes de aerosoles marinos: Sodio
- Emitidos por procesos de incineración; Potasio, plomo, zinc y cobre.
- Provenientes de quema por combustibles: Níquel, vanadio, manganeso, fósforo.
- Provenientes de construcciones: Plomo, níquel, manganeso y fósforo.

En los estudios señalados, se mencionan al potasio, calcio, manganeso y sodio como agentes que neutralizan la lluvia ácida. Un ejemplo de esto es el estudio de López et al. (2016) en Cuba, los resultados de una de las tres zonas estudiadas presentó un nivel pH de entre 6 a 7, identificando la neutralización por parte de las altas concentraciones de potasio en las muestras. En otra investigación realizada en China por Baouzhu et al. (2015), aseguran que la parte norte de ese país está influenciada directamente por el polvo alcalino procedente de las zonas desérticas. El material particulado proveniente de los desiertos interfiere en la acidificación de la lluvia en las zonas urbanas neutralizándolo, según Terada et al. (2001), el causante de este efecto neutralizante es denominada “arena amarilla” que contiene en su composición calcio y magnesio.

Con la literatura analizada, se puede establecer semejanzas en los métodos de monitoreo y en los análisis de la composición de las muestras, además de las variables e imprevistos que se toman en cuenta para concluir que puede llegar a influir en los resultados procesados.

4.2. Variables meteorológicas y Físicoquímicas

Para la Organización Meteorológica Mundial la precipitación es un hidrometeoro que forma un conjunto de partículas de agua líquida o sólida, en estado suspendido en la atmósfera y cae sobre el suelo o en el aire libre. Los hidrometeoros se pueden originar en una suspensión de partículas y ocurren en nubes, niebla y niebla helada. Pero los procesos de precipitación que consisten en la caída de las partículas por su unión se clasifican por sus diferentes tamaños y estados en lluvia, llovizna, nieve, cinarra, nieve granulada, polvo de diamante, hielo granulado y granizo (OMM, 1993).

En Ecuador, las precipitaciones más frecuentes en la región interandina se dan entre los meses de marzo y abril, con un promedio de medición de entre 7 000 mm y 1 200 mm, con una

temperatura de 10 °C y 16 °C (Armijos et al., 2018). Por su parte, el viento influye en el transporte de contaminantes en la atmósfera. Para Vanegas y Mazzeo (2012), el viento tiene un papel significativo en el transporte y la dilución de los contaminantes, dependiendo de su velocidad, los contaminantes pueden dispersarse y en consecuencia bajar la concentración de las emisiones transportándolas en las corrientes a diferentes lugares alejados de la emisión. La concentración de un contaminante está ligada a la elevación de emisión y a la velocidad del viento. Para Turner y Schulze (2007) depende de la altura de las emisiones y la velocidad del viento, lo que puede establecer que las condiciones sobre la superficie con baja velocidad del viento aumentan las concentraciones de los contaminantes en esa zona, pero en caso de las velocidades altas de viento puede ayudar a la dispersión de los componentes en la atmósfera.

De igual forma se tiene la temperatura que es una magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio medio de las moléculas de un objeto. Esta variable condiciona la concentración de algunos gases emitidos y se podrá determinar si podría estar afectando en la concentración de nitratos y sulfatos (Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales de Colombia [IDEAM], 2019). Para Gómez (2001), la temperatura tiene un factor importante en las concentraciones de los contaminantes, en caso de un estudio dado en Santiago de Chile, se determinó que las concentraciones más altas de dióxido de azufre se dieron cuando las temperaturas alcanzaban el valor máximo durante el día.

En lo que respecta al pH, se conoce como una medida de acidez o alcalinidad de una solución, cuya escala va desde 0 a 14, siendo el valor más cercano 0 un indicativo de un medio ácido, mientras que valores más cercanos a 14 indicarían un medio alcalino, en el que la actividad se da por la concentración del ion H (Cruz y Gamed, 2008). De igual manera, la conductividad según Schulz (1999) tiende a ser la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica con relación a la concentración y tipo de las sales disueltas, las cuales pueden

afectar en las propiedades de diversos recursos como el pH, conductividad, nutrientes y entre otras.

En general los parámetros fisicoquímicos como la Conductividad y el pH conjuntamente con las variables meteorológicas se usan en estudios de contaminación del aire para corroborar los cambios de pH que pueden estar generándose en la lluvia. Según Carrera et al. (2021), entre las variables meteorológicas más usadas están la precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, pH y conductividad.

Por otro lado, se puede relacionar el efecto del tráfico vehicular de las ciudades a los problemas suscitados por contaminación de gases, por eso un inventario de flujo vehicular se puede utilizar para determinar relaciones con los nitratos y sulfatos en agua de lluvia. El inventario de flujo vehicular es una metodología que permite realizar el conteo de vehículos que pasan por un tramo de vía específico, para determinar la influencia del flujo de vehículos y posibles estrategias para la solución de problemas de vialidad que aseguren una buena planificación en infraestructura (Segarra y Cobos, 2022). No obstante, el problema de los embotellamientos en las ciudades está dado por la incapacidad de la malla vial para soportar el flujo de los vehículos (Quintero y Quintero., 2015).

4.3. Lluvia ácida

Este tipo de precipitación es el resultado de las emisiones de contaminantes a la atmósfera como los gases provenientes de emisiones por motores de combustión, quema de materiales agrícolas o por fabricación de productos. Este fenómeno tiene como precursores al dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x) en su composición, y que por varios procesos se unen al agua lluvia en las nubes (García y López, 2023). Un medio en equilibrio con dióxido de carbono en el aire con pH de 5,6 se considera ligeramente ácido, mientras que

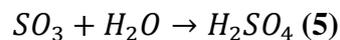
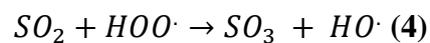
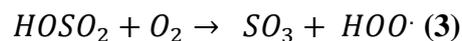
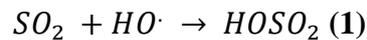
uno con pH de 7 sería neutro, mientras que para rangos causados por emisiones antropogénicas que varía entre un pH de 3,5 a 5 se lo definiría como una precipitación ácida (López et al., 2016). De manera más detallada, Barreto (2019) los clasifica de la siguiente manera (tabla 1):

Tabla 1. Clasificación del agua lluvia de acuerdo con el pH

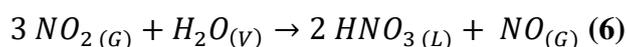
pH	Clasificación
pH > 5,6	Lluvia no ácida
4,7 < pH ≤ 5,6	Lluvia ligeramente ácida
4,3 < pH ≤ 4,7	Lluvia medianamente ácida
pH ≤ 4,3	Lluvia fuertemente ácida

Las formaciones de los ácidos en las nubes están dadas por reacciones químicas que después precipitan, el dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) son tipos de emisiones gaseosas que por diferentes reacciones en el medio atmosférico se agregan a las soluciones de las precipitaciones y forman los diferentes ácidos. El dióxido de azufre según Barreto (2019), es uno de los gases más comunes que se pueden generar por el uso de combustibles en motores de combustión e industrias. Este es oxidado en la atmósfera por radicales producidos por mecanismos fotoquímicos como el radical hidroxilo (García et al., 2006).

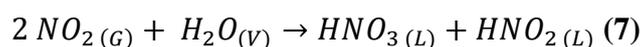
Por diversas reacciones por radicales químicos presentes en la atmosfera, forman trióxido de azufre que al contacto con el agua forma ácido sulfúrico:



Las emisiones de NO, NO₂ y NO₃ se generan como el dióxido de azufre y está vinculado a los vehículos por combustión, industria y quema de materiales agrícolas, pero la reacción para que se forme el ácido nítrico es 10 veces más rápida que el ácido sulfúrico por otros componentes de la atmósfera que facilitan el proceso de acidificación (García et al., 2006). Se pueden formar por medio de tres moléculas de dióxido de nitrógeno que reaccionan con el vapor de agua formando dos moléculas de ácido nítrico y una de monóxido de nitrógeno:



Por otra parte, se puede formar ácido nítrico por medio de dos moléculas de dióxido de nitrógeno y vapor de agua, así generando ácido nítrico y ácido nitroso.



En este contexto la formación del ácido nítrico y el ácido sulfúrico permite comprender cuáles son los objetivos de análisis para la fase laboratorio, hay que tener en cuenta que la concentración de estos dos compuestos que acidifican el agua lluvia serán analizados en forma de iones, así identificándolos como nitratos y sulfatos, mediante ensayos espectrofotométricos.

4.4. Análisis de Alcalinidad

Para Crittenden et al. (2012), la alcalinidad es usada también como criterio de calidad agua para la capacidad de amortiguamiento a los cambios de pH, estos toman los criterios de concentración de carbonato de calcio para establecer rangos:

- **Baja:** <50 mg/L de CaCO₃
- **Moderada:** 50 a <100 mg/L de CaCO₃
- **Alta:** 100 a <150 mg/L de CaCO₃
- **Muy alta:** >150 mg/L de CaCO₃

La alcalinidad del agua pues ser utilizada para demostrar la vulnerabilidad de los cambios del pH en el agua de lluvia.

4.5. Ensayos por espectrofotometría

La espectrofotometría es una técnica experimental para la detección de moléculas específicas, que genera un registro del espectro por medidas de absorbancia a longitud de onda fija (Kuskoski et al., 2005). Basándose en que las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas y mediante la luz absorbida depende de forma lineal para proporcionar la medición de concentración (Díaz et al., 2010). La medición de iones por medio de este método está determinada por las especificaciones de los equipos, además de las características de las muestras que requieren para la medición, lo que hace alusión a la naturaleza de la sustancia. Meza et al. (2016), en el ensayo de nitratos por espectrofotometría tomaron un rango de medición de 220 a 275 nm para una concentración de 0 a 17 mg/l, para un estudio de aguas no contaminadas. Para la medición de sulfatos por espectrofotometría en el estudio de Severiche y González (2012) determinó que a un rango de medida de 420 nm en métodos normalizados es adecuado para análisis de aguas potable y residuales dadas por la Asociación Americana de Salud Pública de Colombia.

Para el uso de normativas acerca de los nitratos y sulfatos, no existe lineamientos exactos en la normativa nacional vigente, que se puedan usar y así tener una idea de los límites máximos permisibles sobre los contaminantes señalados. La normativa legal internacional puede guiar sobre el problema de la acidificación de la lluvia y brindar los lineamientos para determinar concentraciones de los componentes acidificantes.

5. Metodología

5.1. Área de estudio

El estudio se realizó en la ciudad, cantón y provincia de Loja que se ubica al sur en la región sierra de la República del Ecuador, a una altitud de 2 100 m s.n.m. con una temperatura media anual de 15 °C y máxima de 23 °C. La mayor precipitación ocurre de septiembre hasta mayo, teniendo como pico máximo el mes de marzo, donde los rangos de precipitaciones están entre 500 a 2 000 mm (Gobierno autónomo descentralizado de Loja, 2019).

5.2. Puntos de monitoreo

Con base en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de Loja, las avenidas con mayor tráfico de vehículos en la ciudad, se concentran en dos puntos de alto flujo vehicular Las avenidas más concurridas por vehículos motorizados son: i) en la Terminal terrestre “Reina del Cisne”, ubicado al norte de la ciudad en la Avenida 8 de diciembre y la vía troncal de la Sierra, ii) el barrio “Las Peñas”, en la Estación de servicio comúnmente denominada “Bomba quemada”, localizada en la Avenida Pío Jaramillo y calle Alonzo de Mercadillo (Gobierno autónomo descentralizado de Loja, 2019). De igual forma se señala un punto de baja carga vehicular, que podría ser referido como punto de control, el cual se denominó el tercer punto (control) fue ubicado en el barrio Zamora Huayco, en la Avenida río Marañon y calle río Santiago (Figura 1)

Tabla 2. Coordenadas de los puntos de monitoreo

Sector	Luga	Código	Coordenadas
Norte	Terminal terrestre de la ciudad de Loja.	Punto 1	X: 699283 Y: 9560153
Centro	Estación de Servicio de combustible La “Bomba Quemada”	Punto 2	X: 698985 Y: 9557465
Centro – Este	Barrio “Zamora Huayco”	Punto de baja carga vehicular	X: 701033 Y: 9557102

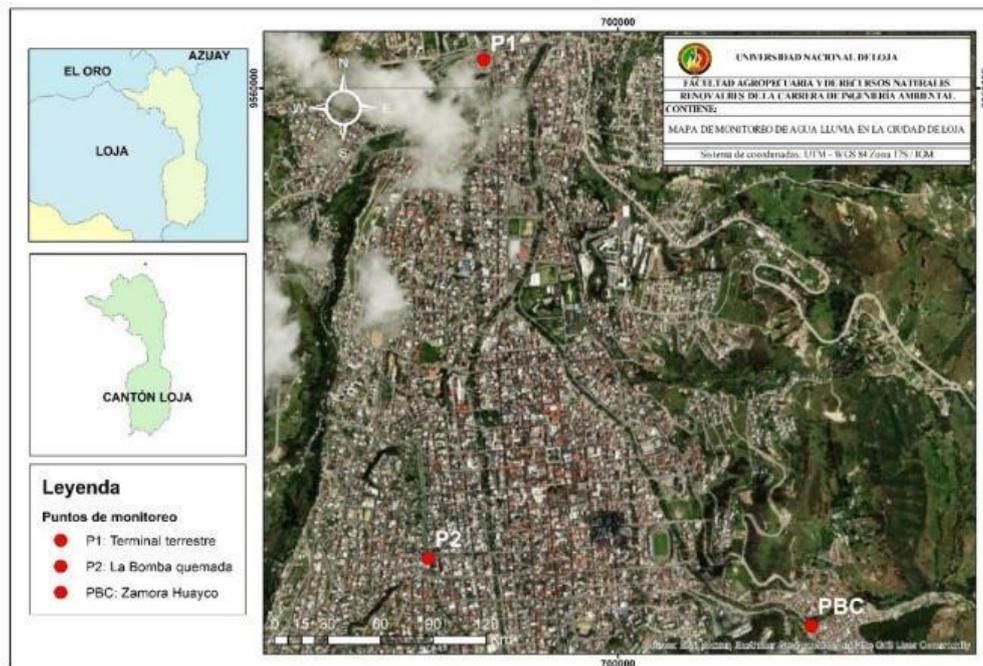


Figura 1. Ubicación de puntos de monitoreo de concentración de nitratos y sulfatos en el agua de lluvia, en la zona urbana de la ciudad de Loja

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo con alcance descriptivo, de tipo no experimental, en el que se monitorizaron las variables meteorológicas de cada punto, también se contabilizó el flujo vehicular por medio de un inventario y las concentraciones de nitratos y sulfatos en el agua lluvia de los puntos propuestos en la ciudad de Loja.

5.3. Número de muestras

Algunos estudios (Zhixiong et al., 2022) recomiendan una gran cantidad de muestras para lograr un muestreo representativo. Sin embargo, el presente estudio dependió del número de precipitaciones en la ciudad durante los meses de marzo a mayo del 2024, el cual puede afectar los resultados por el número limitado de muestras. De los 3 puntos se recolectaron 30 muestras en el periodo del estudio, ocurrieron 10 precipitaciones representativas en la ciudad de Loja.

5.4. Medición de variables meteorológicas

Para la obtención de las variables meteorológicas se usó la estación portátil Davis modelo Vantage-Vue, que fue proporcionada por la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Loja. La estación meteorológica puede tomar medidas sobre las principales variables como humedad, temperatura, precipitación y tanto la velocidad como la dirección del viento.

Dicha estación se instaló en la terraza del Municipio de Loja por la proximidad del punto de mediatriz, es el punto medio que está cercano a los tres puntos de monitoreo del estudio (Figura 2). El equipo se posicionó en orientación al norte por medio de un tubo de acero debidamente equilibrado con el centroide del equipo (Anexo 5). La configuración del equipo se realizó en el tablero que se enlazó con un computador por medio del programa *WeatherLink* versión 6.0.3. Se creó una estación virtual para el enlace con la estación para la descarga de los datos. Los datos proporcionados por la estación fueron registrados cada media hora durante todo el estudio, la información receptada se analizó para encontrar patrones con los nitratos y sulfatos conforme con la variable de precipitación.

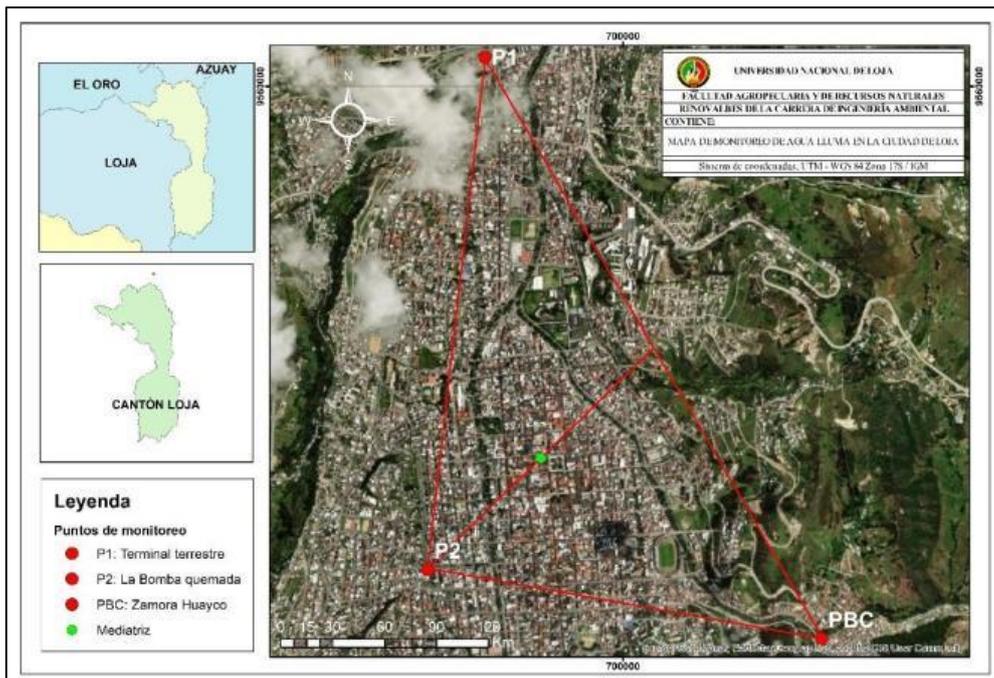


Figura 2. Punto de mediatriz para la ubicación de la estación meteorológica

5.5. Inventario del tráfico vehicular

El inventario de flujo vehicular se obtuvo por medio de videos tomados en los tres puntos de monitoreo correspondiente para la contabilización y clasificación de los vehículos (Anexo 4), teniendo en cuenta las horas pico desde la mañana (8H00 a 9H00), al medio día (12h00 a 13H00) y en la tarde (18H00 a 19H00). Según la metodología de Cal y Mayor y Cárdenas (2018), ante el criterio de conteo de vehículos denominado “factor de la hora máxima de la demanda” esto para un lapso de 1 hora específica se puede tomar mediciones de tiempo de entre 5, 10 a 15 minutos. El criterio tomado para el conteo de vehicular en el estudio será de 10 minutos en horario laboral, de lunes a viernes en horario pico.

Para la clasificación de los vehículos y recepción de los datos, se usaron los criterios dados por Cal y Mayor y Cárdenas (2018) que categorizan a los vehículos en i) livianos, que corresponden a los que tienen 2 ejes y cuatro ruedas contando también las motocicletas; ii) pesados, comprendidos entre dos y más ejes, con seis o más ruedas; y, iii) especiales, como camiones o remolques especiales para transporte de componentes pesados, además de vehículos no clasificados como son los vehículos deportivos y aquellos de tracción animal. Se tomaron 24 muestras en cada punto para un total de 72 muestras en todo el estudio.

5.6. Toma de muestras de agua lluvia

En los tres puntos de monitoreo se recolectó el agua de lluvia para el análisis posterior de laboratorio, a través de envases de vidrio ámbar de 650 ml con un embudo de acero inoxidable debidamente posicionados en un trípode a un metro de altura en cada punto de monitoreo (Anexo 5). Para ello se siguió la metodología de recolección de muestras de agua de lluvia de Globe Learning Investigation (Globe, 2005), se consideró el tiempo de recolección de

las muestras de un lapso entre 1 a 2 horas después de la precipitación. En los tres puntos de monitoreo se recolectó el agua de lluvia para el análisis posterior de laboratorio, a través de envases de vidrio ámbar de 650 ml con un embudo de acero inoxidable debidamente posicionados en un trípode a un metro de altura en cada punto de monitoreo (Anexo 7). Para ello se siguió la metodología de recolección de muestras de agua de lluvia de Globe Learning Investigation (Globe, 2005), se consideró el tiempo de recolección de las muestras de un lapso entre 1 a 2 horas después de la precipitación. Se tomaron en cuenta los criterios dados por la “NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2169:2013”, el cual establece lo siguiente:

Tabla 3. Criterios de Preservación de muestras para análisis de Agua

Parámetros		
	Nitratos	Sulfatos
Recipiente de almacenamiento	Vidrio o Plástico (No especifica material)	
Técnica de Preservación	Se enfría de 1° a 5° C	
Tiempo	24 horas	1 mes

Además, nos indica que para el transporte de muestras se debe de almacenar de forma que no tenga contacto directo con la luz, no debe tener oxígeno para evitar agitación y debe mantenerse la cadena de frío (INEN, 2013). Se tomaron en cuenta los criterios de transporte usando una hielera con abundante hielo, si las muestras no podían receptarse el día recolectado, se utilizaba los refrigeradores de los laboratorios de Ambiental y Bromatología.

5.7. Análisis de laboratorio

Una vez que las muestras llegaron al Laboratorio Ambiental de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Loja, se procedió a analizar los parámetros de pH, conductividad, alcalinidad, concentración de nitratos y sulfatos.

5.7.1. Análisis de pH y conductividad

Para determinar el pH y la conductividad de las muestras, se usó un medidor de sobremesa HANNA HI 5522, que tiene una precisión de lectura de $\pm 0,01$ para el pH y de conductividad de $\pm 0,01$ uS/cm (HANNA Instruments, 2022). Primero se calibró el equipo con las soluciones buffer correspondientemente de 4, 7 y de 10 de pH para evitar errores de precisión en las lecturas. El ensayo fue realizado por medio de vasos de precipitación con las muestras de cada punto, por medio de los sensores de pH y de conductividad del medidor de sobremesa. Se tomaron lecturas hasta la estabilización de la medición y al finalizar, los sensores se limpiaron con agua destilada. Este procedimiento se ejecuta para cada muestra de agua lluvia que se analice (Anexo 9).

5.7.2. Ensayo de alcalinidad por método potenciométrico

En el ensayo de alcalinidad según lo indicado por la metodología del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2017) se realizó en cada una de las tres muestras, por medio de una bureta electrónica dTrite “022.001-D” que cuenta con una precisión de 0,2 %. Para la titulación se lo hizo por medio de la disolución de ácido sulfúrico con una normalidad de 0,02 N como medio titulante (Anexo 10).

Disolución de ácido sulfúrico a 0,02 N

Para el ensayo de titulación se realizó una primera disolución de ácido sulfúrico a 0,1 N, mediante el uso de ácido sulfúrico al 98,08 % de pureza en un balón aforado de 1 litro con agua destilada. Se calculó el volumen necesario del ácido sulfúrico al 98,08 %, por medio del peso molecular, densidad y el concepto de equivalente químico gramo (Anexo 11).

Cálculo del Equivalente químico gramo:

$$Eqg = \frac{PM_{H_2SO_4}}{H^+}$$

- **PM_{H2SO4}**: Peso molecular del ácido sulfúrico.
- **H⁺**: Numero de hidrogeniones.

Volumen de ácido sulfúrico:

$$V_{H_2SO_4} = \frac{Eqg * N}{d_{H_2SO_4}}$$

- **Eqg**: Equivalente químico gramo del ácido sulfúrico.
- **N**: Normalidad deseada.
- **d_{H2SO4}**: Densidad del ácido sulfúrico.

Se necesitó de 2,68 ml de ácido sulfúrico en un litro de disolución para obtener un ácido a 0,1 normal. A partir del ácido sulfúrico a 0,1 normal se tomó 200 ml de disolución para preparar el titulante al 0,02 N. Esto se agregó en un balón aforado y se llenó de agua destilada hasta llegar a 1 litro de disolución (Anexo 12).

Estándar primario

El estándar primario sirve para el cálculo de la normalidad, en el que se necesitó carbonato de sodio seco a 250 °C durante 4 horas en el horno para adquirir una carga estática del soluto. Luego se pesó 0,6250 gramos y se agregó en un balón aforado de 250 ml con agua destilada en el que se obtuvo una disolución de carbonato de sodio a 0,05 N. Se recalca que no se puede conservar el estándar primario por más de una semana.

Cálculo de normalidad

Para el cálculo de la normalidad se necesitó hacer una disolución con 4 ml de carbonato de sodio a 0,05 N en un vaso de precipitación con 50 ml de agua destilada, que se tituló hasta llegar a un pH de 4,5 (Anexo 13).

Normalidad:

$$N = \frac{A * B}{53,00 * C}$$

- **A:** gr Na₂CO₃ usados para la disolución*4.
- **B:** ml de solución de Na₂CO₃ tomados para la titulación.
- **C:** ml de ácido sulfúrico a 0,02 empleados.

Procedimiento de análisis

Por medio de la bureta con la disolución de ácido sulfúrico a 0,02 N y en un vaso de precipitación con la muestra de agua con un agitador, se tituló hasta llegar a una lectura con el medidor de mesa a un pH de 4,5. Se contabilizaron los ml de disolución de ácido utilizados.

Cálculo de resultados

Alcalinidad

$$Alcalinidad = \frac{A * N * 50\ 000}{Vm}$$

- **A:** Volumen en ml del ácido empleado.
- **N:** Normalidad del ácido estándar.
- **Vm:** Volumen de la muestra de agua.

La medida de los resultados de la alcalinidad es de g de CaCO₃, los cuales se realizaron para cada muestra de agua, referente a que se tenga el volumen necesario para realizar los

análisis. Se tomarán en cuenta los rangos de dureza según Crittenden et al. (2012), que se usa también como criterio de calidad agua para la capacidad de amortiguamiento a los cambios de pH, esto para determinar que rango de alcalinidad tienen las muestras de agua analizadas en el estudio.

Tabla 3. Rangos de alcalinidad del agua

Alcalinidad	Rango
Baja	<50 mg/L de CaCO ₃
Moderada	50 a <100 mg/L de CaCO ₃
Alta	100 a <150 mg/L de CaCO ₃
Muy alta	>150 mg/L de CaCO ₃

5.7.3. Análisis espectrofotométrico

El agua lluvia recolectada se procesó en el laboratorio, donde se realizó un ensayo de concentraciones para los nitratos y sulfatos por medio del espectrofotómetro HACH Lange DR 2800 que tiene una precisión de longitud de onda de $\pm 1,15$ nanómetros y una precisión fotométrica de 5 a 0,5 mabs (HACH Company, 2013).

Para el caso de la determinación de las concentraciones de nitratos, en la programación del espectrofotómetro se seleccionó el test 355 que determinó los nitratos en un rango de concentración de 0,3 a 30 mg/l. Para el análisis de la muestra de agua se usó dos cubetas que se llenaron hasta 10 ml. En una cubeta se agregó el reactivo Nitruver 5 y se agitó por un minuto, para después dejarlo reposar por 5 minutos. Con todo lo indicado se procedió a ir al espectrofotómetro, donde se colocó primero la cubeta sin reactivo para que el equipo determine por medio de la opción cero. Luego se retiró para posicionar la cubeta de la muestra con el reactivo y se determinó la concentración de nitratos en la muestra de agua (Anexo 14).

La determinación de las concentraciones de sulfatos, en la programación del espectrofotómetro se seleccionó el test 680 que determina los sulfatos en un rango de

concentración de 0 a 70 mg/l. Para el análisis de la muestra de agua se usó dos cubetas que se llenaron hasta 10 ml. En una cubeta se agregó el reactivo Sulfaver y se agitó para dejarlo reposar por 5 minutos. Con todo lo indicado se procedió a ir al espectrofotómetro, donde se colocó primero la cubeta sin reactivo para que el equipo determine por medio de la opción cero. Luego se retiró para posicionar la cubeta de la muestra con el reactivo y se determinó la concentración de nitratos en la muestra de agua (Anexo 14).

5.8. Análisis de datos

Para el análisis de los resultados obtenidos en el estudio se tomó en cuenta el análisis de las variables meteorológicas, el inventario de tráfico vehicular y los análisis de laboratorio. Se realizaron medidas de tendencia central, pruebas de normalidad y pruebas de correlación, el análisis se interpretó por medio de gráficas, se utilizó el software *Rstudio* versión 2024.04.1 para el procesamiento de los datos y las gráficas.

5.8.1. Medidas de tendencia central

Se calcularon los promedios para establecer una medida central de todas las variables obtenidas en el estudio, además de usar un coeficiente de dispersión como el error estándar para considerar la dispersión en la tendencia central. Estas medidas se usaron para generar las gráficas tipo “Bloxplot” y de barras.

5.8.2. Pruebas estadísticas

Para establecer relaciones de la variación del pH conforme con los nitratos y sulfatos se determinaron los métodos estadísticos como las pruebas de correlación, esto para responder con la hipótesis planteada en la investigación. Se tomaron en cuenta las variables de pH, conductividad, la concentración de nitratos y sulfatos. Estos análisis permitirán entender como

las variables tienden a estar relacionadas entre sí para determinar cómo aportan al problema de la lluvia acida en la ciudad de Loja.

Se realizó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk para verificar la distribución normal de los datos en los tres puntos, para determinar si las variables son recurrentes o tienden a variar por diferentes condiciones que pueden existir. Además de realizar pruebas de homocedasticidad de Levenne para conjuntos de datos con distribución normal y para las variables que no tienen normalidad se decidió optar por una prueba Kruskal-Wallis, esto para comprobar las diferencias del conjunto de datos para cada componente, lo que permitirá encontrar diferencias en los tres puntos de monitoreo, además de verificar como estas diferencias inciden en los tres puntos de monitoreo.

5.8.3. Pruebas de Correlación

Se establecieron las correlaciones del pH y conductividad en torno a la concentración de nitratos y sulfatos, para verificar que tipo de relaciones tienen en la composición del agua de lluvia. Esto por medio de la correlación lineal de Pearson para un conjunto de datos con distribución normal y el coeficiente de correlación de Spearman para las variables que no tengan normalidad. Esta prueba determinó la repuesta a la hipótesis planteada por la investigación

5.8.4. Remuestreo Bootstrap

El remuestreo Bootstrap permitió estimar aproximadamente la distribución de un numero de muestras con sus propiedades mediante un procedimiento simple (Ramirez et al., 2016), esto posibilitó crear un gran número de muestra por medio de los datos medidos en el estudio, esto para evitar problemas en la representatividad que pueden surgir por el número de muestras recolectadas, se realizó por medio del software *InfoStat* versión 2020.

6. Resultados

6.1. Variables meteorológicas

Los datos de las variables meteorológicas se obtuvieron de la estación Davis Vantage Vue ubicada en el centro de la ciudad de Loja, entre el 20 de marzo y el 7 mayo del 2024 (Figura 3). Las condiciones del clima permitieron entender como las precipitaciones pudieron inferir en la concentración de los nitratos y sulfatos, además de tomar en cuenta la temperatura por la capacidad de generar reacciones con los contaminantes gaseoso y el factor del viento para verificar las tendencias de transporte de contaminantes.

Se analizó por cada mes para evidenciar las variaciones de la precipitación, temperatura, velocidad y dirección del viento en el período de tiempo del estudio; los datos se representan por medio de graficas “boxplot”. Específicamente para la precipitación se consideraron únicamente los meses que la estación meteorológica estuvo activa. El resultado de esto se representa en la figura 3.

6.1.1. Precipitaciones

A continuación, se prestan los resultados de las mediciones de precipitación en el estudio.

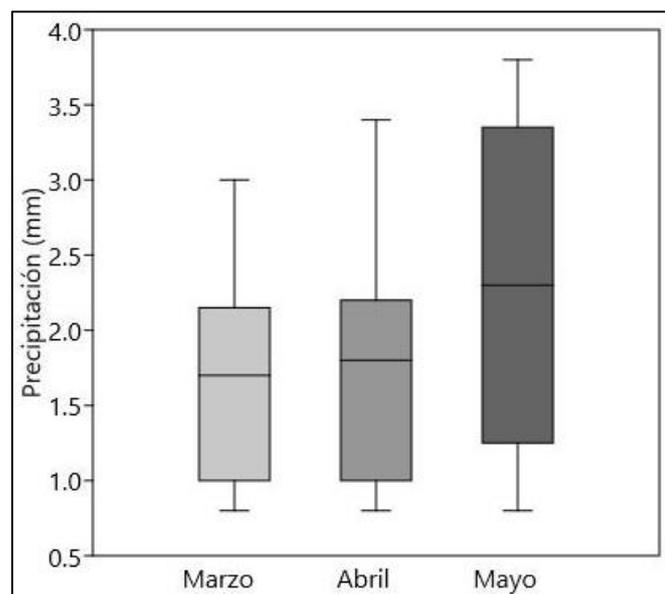


Figura 3. Boxplot de las precipitaciones por mes en la ciudad de Loja

En cuanto a las precipitaciones en la ciudad de Loja, se observaron datos atípicos que fueron descartados, ya que resultaron ser circunstanciales. Estas mediciones, además de ser inusuales, mostraron una alta variabilidad. Las mediciones de la precipitación presentaron un promedio para el mes de marzo en el que se obtuvo 1,66 mm de lluvia, en caso de abril una precipitación de 1,74 mm y en mayo una media de 2,3 mm. Además, que por representación del error estándar muestran poca variabilidad en los datos conforme a la media.

6.1.2. Temperatura

En la Figura 4 se presentan los promedios de la temperatura del centro de Loja en los meses de marzo, abril y mayo. La media en la temperatura en el casco céntrico de Loja en el mes de marzo se determinó en 18,62 °C, para el mes de abril la media de la temperatura está en 18,32 °C y en mes de mayo una media en temperatura de 18,74 °C. Aunque hay datos que tienen variación entre sí, sin embargo, la mayoría de los datos están concentrados dentro de la media.

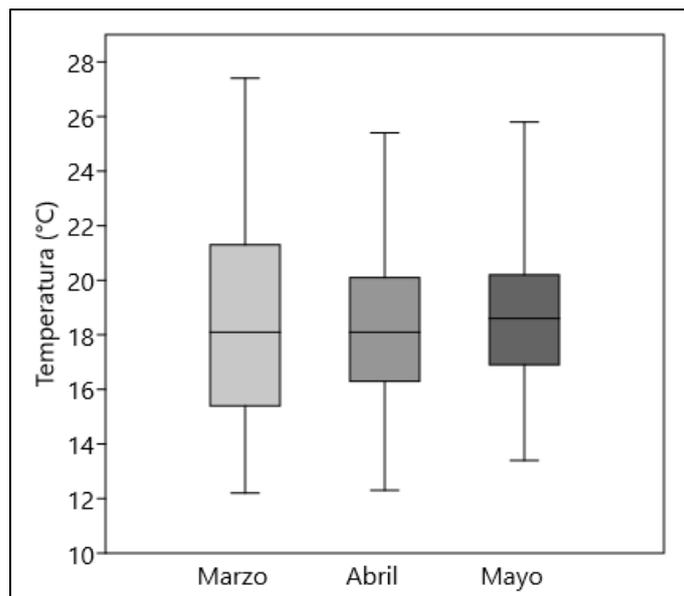


Figura 4. Boxplot de la temperatura por mes en la ciudad de Loja

6.1.3. Dirección y velocidad del viento

En la velocidad del viento registrada en el periodo del estudio nos muestra una alta variabilidad, con datos de velocidades fuera de los promedios y también algunas mediciones registradas de cero, lo que nos indica que el viento en la ciudad de Loja tiene un comportamiento variable según la temporada estudiada. La velocidad del viento en el mes de marzo da una media de 1,37 m/s, para abril la media es de 1,81 m/s y en mayo la media de velocidad del viento es de 1,62 m/s. Se excluyeron varios datos atípicos alejados de la media que no eran representativos esto se ve en la Figura 5.

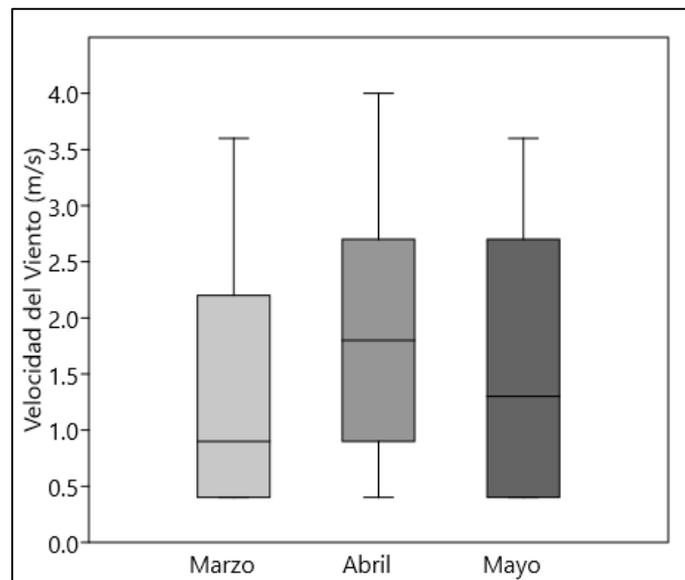


Figura 5. Boxplot de la velocidad del viento por mes en la ciudad de Loja

Los vientos en la ciudad de Loja muestran una tendencia predominante hacia el noreste y el este, con una velocidad promedio de 1,61 m/s. Además, se evidenció un 37,8 % de calma, lo que demostró que más de un tercio de los vientos tuvieron una velocidad baja o cercana a 0. También se realizaron rosas de los vientos de cada mes, lo que evidenció que en los meses en que se realizó el estudio, no tienen diferencias significativas en la tendencia de la velocidad y dirección del viento (Anexo 16, 17 y 18).

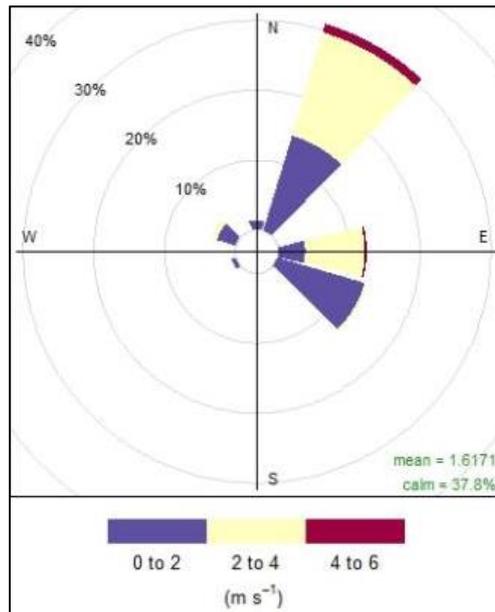


Figura 6. Rosa de los vientos del centro de la ciudad de Loja 2024

6.1.4. Variación temporal del clima

Las variaciones que se obtuvieron durante el estudio permitieron observar tendencias y comportamientos de los parámetros de precipitación, temperatura y velocidad del viento en la figura 7.

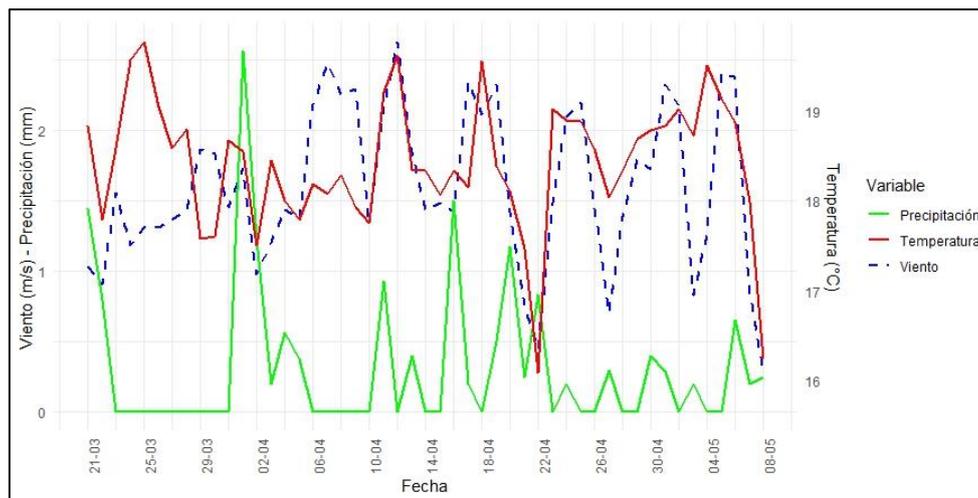


Figura 7. Variación temporal del clima entre el mes de marzo y mayo del 2024

Sobre las variaciones climáticas en el centro de Loja indican una relación entre el viento y la temperatura, se puede corroborar que a una mayor temperatura existe una tendencia a aumentar la velocidad del viento en los periodos de lluvia, pero existen situaciones que la velocidad del viento no varía directamente por los cambios en la temperatura ya que no se observaron fluctuaciones significativas con respecto a la temperatura, esto por la ausencia de las precipitaciones, estas pueden generar cambios en las demás variables, ya que lluvias más frecuentes sugieren una disminución de la temperatura prolongada, cuando hay precipitaciones la variabilidad de la temperatura es más evidente lo cual sugiere que en estos fenómenos son claves para que la velocidad del viento pueda aumentar o disminuir en el centro de la ciudad.

6.2. Inventario de Tráfico Vehicular

El inventario de carga vehicular se realizó en las zonas del terminal terrestre Reina del Cisne, en la estación de servicio Gasosilva 2 conocido como la “Bomba Quemada” y el barrio Zamora Huayco. El inventario fue desarrollado para cada punto del estudio y documentado en bases de datos para cada uno, con sus respectivas fechas y contabilización, considerando los criterios de tiempo sugeridos por Cal y Mayor y Cárdenas (2018) (Anexo 16, 17 y 18). Para el análisis se consideró el tipo, el número de vehículos y los sectores para determinar las diferencias en cada sector. Se consideró dejar de lado los vehículos especiales para realizar las gráficas al tener un número muy bajo contabilizado (Anexo 21, 22 y 23). Se realizó un gráfico señalando el horario de las muestras, el sector y el tipo de vehículos contabilizados, esto se puede ver en la figura 8.

Se comprobó por medio de una prueba de Kruskal-Wallis, con un valor de cuartil menor al valor 0,05 que los tres puntos de monitoreo tienen diferencias significativas en los tipos de vehículos livianos ($p=1,78 \cdot 10^{-11}$) y pesados ($p=2,07 \cdot 10^{-11}$), esto por el número de vehículos

contabilizados que se registra un mayor número en el “Terminal terrestre” y en caso del punto con un número menor de contabilización es el barrio “Zamora Huayco”. Detallando que los tres puntos de monitoreo tienen diferencias en sus mallas viales, sobre todo en el “terminal terrestre” está en una avenida de dos vías con dos carriles para cada sentido, en la “Bomba Quemada” se tiene dos vías, pero de un carril y en el barrio “Zamora Huayco” solo tiene una vía con doble carril.

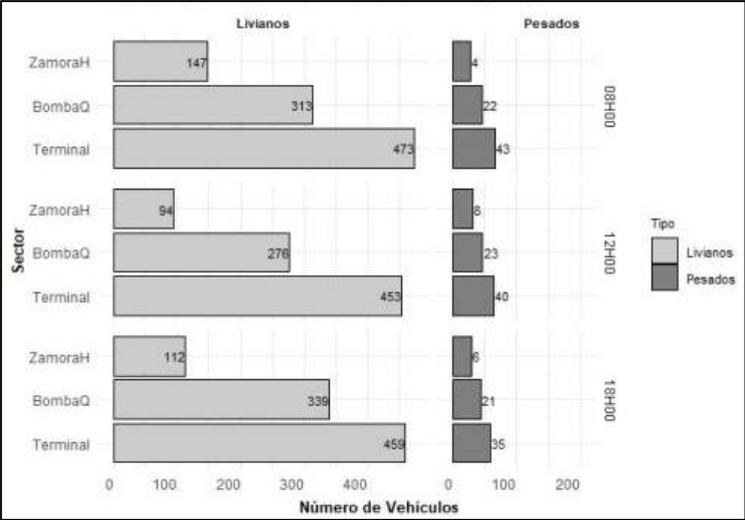


Figura 8. Tipo de vehículos contabilizados en cada sector según su horario

Se evidenciaron diferencias significativas en los tres sectores del estudio, demostrando que el Terminal Terrestre “Reina del Cisne” tiene más afluencia de vehículos, además de que los vehículos pesados son pocos frecuentes en todos los sectores en comparación a los vehículos livianos. Además, se identificó en algunos conteos que existe mayor número de vehículos el efecto fin de semana, que pueden variar de alguna manera el flujo de vehículos en cada una de las zonas monitoreadas.

6.3. Análisis de las muestras de agua

Hay que tomar en cuenta que en el estudio se recolectaron 10 muestras de agua de lluvia que se analizaron en el laboratorio, en si dos de las 10 muestras se excluyeron por presentar datos atípicos en la conductividad y la concentración de sulfatos, específicamente la muestra 1 y la 9 que presentaron valores muy superiores de conductividad y sulfatos que a la media de los demás datos, se puede establecer que las condiciones meteorológicas influyeron para que estas muestras presentaran estas medidas aunque no se puede resaltar que puede ser un evento causado por otros factores.

6.3.1. Análisis del pH

En caso del pH, los datos obtenidos en el laboratorio por el análisis de las muestras en los tres puntos se muestran a continuación, en la figura 9.

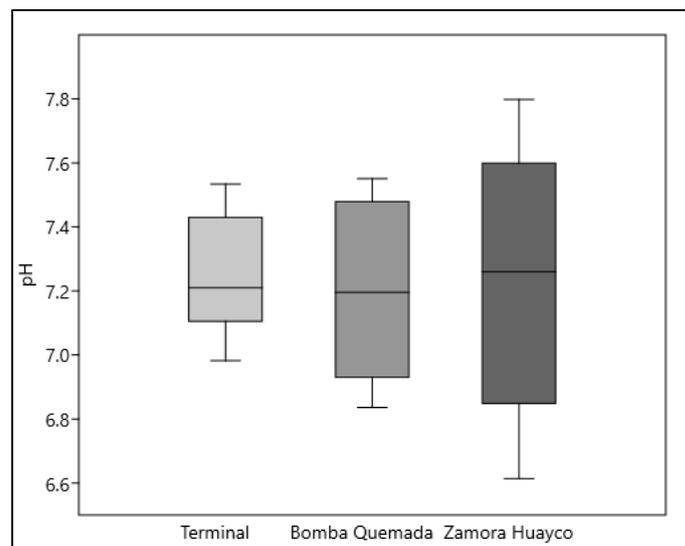


Figura 9. Boxplot del pH por cada sector de alto y mediano tráfico vehicular en la ciudad de Loja

La figura 9 indica una media para los tres sectores de un pH neutro, con menos dispersión de datos en el Terminal terrestre, pero un poco más de dispersión en la bomba

quemada. En lo que respecta a Zamora Huayco, la dispersión de datos fue aún mayor, aunque el pH sigue siendo neutro (Anexo 26). Se recalca que en todas las muestras no se encontró acidez en el agua de lluvia, también que las precipitaciones de la ciudad de Loja tienen un pH neutro. Sobre las condiciones de los puntos de monitoreo se evidenció por medio del test de Levenne que no existe diferencias significativas al presentar un cuartil de 0,1482 lo que se puede decir los tres puntos presentan un estado igual de pH, lo cual no depende del sector.

6.3.2. Análisis de conductividad

La conductividad eléctrica de las muestras de agua presentó una variabilidad significativa entre sí, lo cual algunas muestras fueron excluidas por presentar niveles altos que no eran representativos para el estudio.

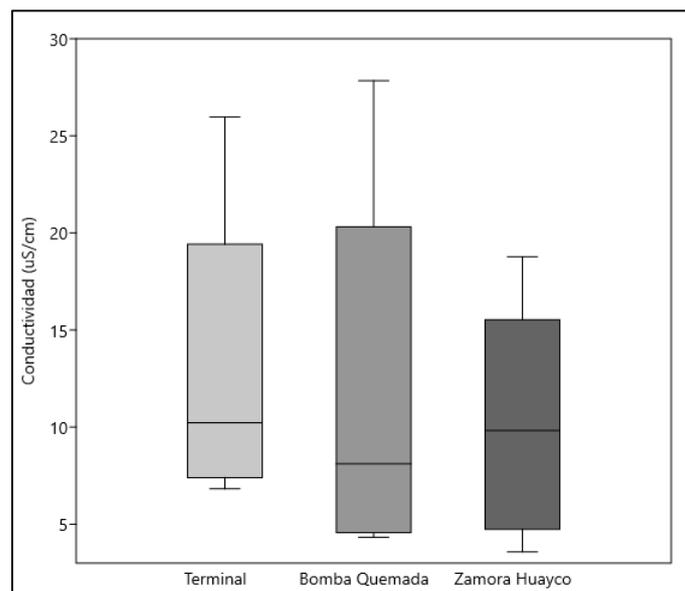


Figura 10. Grafica boxplot de la conductividad en cada sector

La conductividad eléctrica de las muestras de agua que se analizaron arrojó los siguientes resultados (figura 10). Se muestra que la conductividad más alta se presentó en los alrededores del Terminal terrestre; no obstante, la conductividad tiene alta variabilidad en cada

localidad de muestreo, pero según la prueba de Kruskal-Wallis los tres sectores no existen diferencias significativas al contar con un p-valor de 0,667 que muestra que la diferencia de niveles de conductividad siguen la misma tendencia.

6.3.3. Análisis de concentración de nitratos

La concentración de los nitratos presentes en las muestras de lluvia en los tres puntos de monitoreo, se analizó de manera gráfica con los promedios en la figura 11, donde se observa que el promedio para el Terminal Terrestre fue menor que para la Bomba Quemada y ambas mucho menores que Zamora Huayco (Anexo 24).

No obstante, las concentraciones de nitratos en cada una de los sectores en el estudio presentaron una concentración baja con promedios de 1,275 a 2,1 mg/l, esto puede ser por la presencia de material particulado que se encontró en la mayoría de las muestras, es un factor a considerar para un posterior análisis.

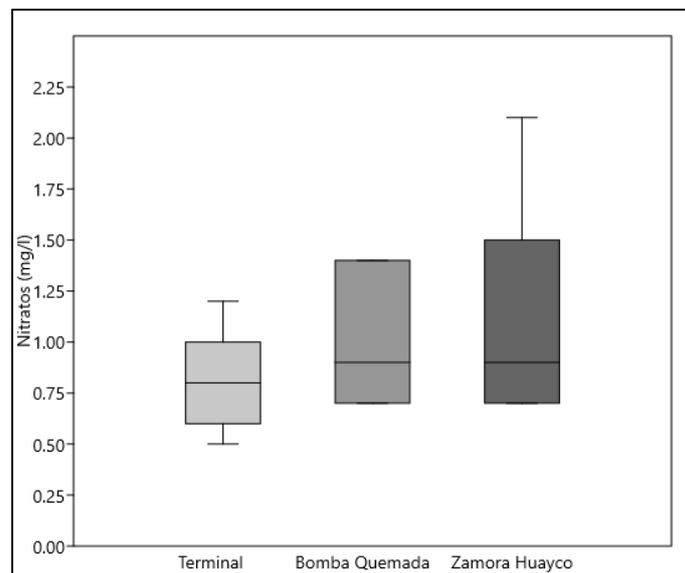


Figura 11. Concentración de nitratos en los tres sectores de alto y mediano tráfico vehicular en la ciudad de Loja

6.3.4. Análisis de concentración de sulfatos

Sobre la concentración de los sulfatos en las muestras de agua de lluvia, los datos recabados en el laboratorio no son relevantes, dada la ausencia de concentraciones, por lo que no se pudo realizar el análisis respectivo por falta de datos (Anexo 23). Sin embargo, la muestra número 9 presento concentraciones superiores a las mediciones, lo cual puede estar sujeto a situaciones atípicas.

6.3.5. Análisis de alcalinidad

El análisis de la alcalinidad se representa como una medida de amortiguamiento para el control del pH en el agua. En base a ello se determinó la alcalinidad hasta llegar al punto final de un pH 4,5. Los análisis se realizaron en 7 de las 10 muestras (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados de los ensayos de alcalinidad (mg de CaCO₃/l)

No. de Muestra	Terminal	Bomba Quemada	Zamora Huayco
1	-	-	-
2	-	-	-
3	4,58	6,41	4,58
4	4,03	3,66	5,68
5	4,76	3,66	4,39
6	-	-	-
7	8,89	9,15	7,89
8	9,00	10,00	6,00
9	14,04	19,01	9,77
10	8,52	9,60	4,80

Como se muestra en la tabla las medidas de alcalinidad según los rangos de CaCO₃/l, nos indica que aguas menores a 50 mg/l de carbonato de calcio son susceptibles a los cambios rápidos de pH, esto quiere decir que su capacidad de amortiguamiento es baja.

6.4. Análisis de variaciones temporales

Las variaciones de los componentes durante el periodo de investigación como en el caso del pH y los nitratos, se representaron en graficas que nos permite ver como las muestras temporales por efecto de otros componentes están relacionados y que comportamiento se obtuvo en el tiempo transcurrido.

6.4.1. Variación temporal del tráfico vehicular entre pH y los nitratos

Se relacionó el tráfico vehicular de los tres sectores con el pH y los nitratos, esto representando como la influencia de los vehículos como el principal generador de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Loja. En la Figura 12 se muestra esta relación, aunque los nitratos en las primeras 3 muestras demuestran una situación atípica, pero en caso de la muestra 4 a la 8 se ve un aumento de los nitratos y en consecuencia una disminución del pH leve, lo que indica que los nitratos tienen una relación inversa por efecto del parque automotor de la Terminal Terrestre.

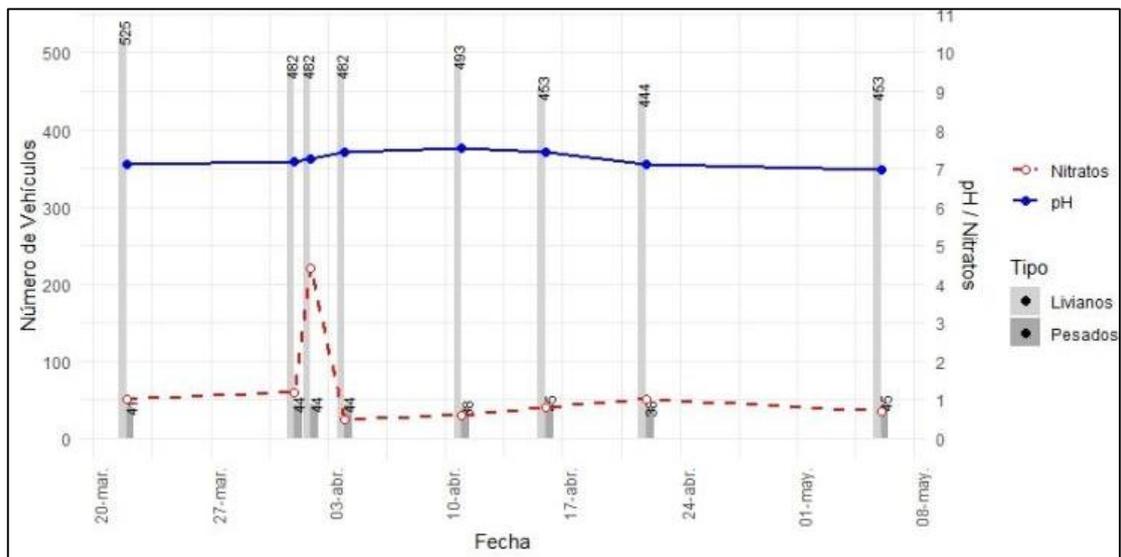


Figura 12. Variabilidad temporal en la Terminal terrestre del tráfico vehicular con el pH y los nitratos

La variabilidad temporal en caso de la “Bomba Quemada” muestra una relación inversa entre el aumento de los nitratos y como el pH disminuye, aunque el tráfico vehicular es más uniforme y no es tan variable en este sector (Figura 12).

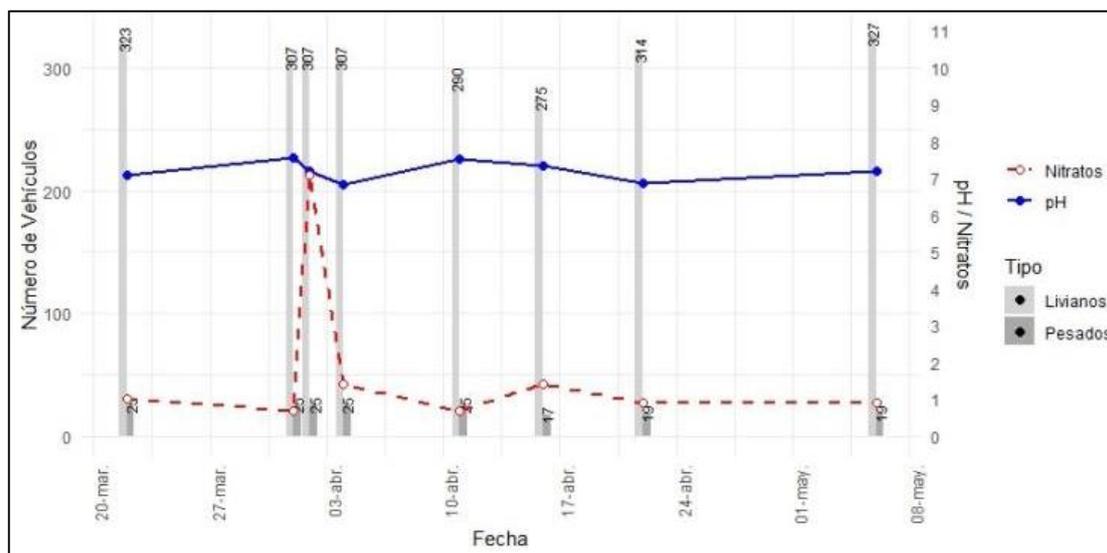


Figura 13. Variabilidad temporal en la “Bomba Quemada” del tráfico vehicular con el pH y los nitratos

Al contrario de los dos sectores anteriores, en el barrio Zamora Huayco (Figura 14), se da una situación atípica, lo que nos muestra la gráfica es en medida de que aumenta o disminuye los nitratos el pH tiende a una relación directa, esto puede ser debido a la presencia de material particulado en las muestras de agua, aunque en los demás sectores también se evidencio presencia de este material.

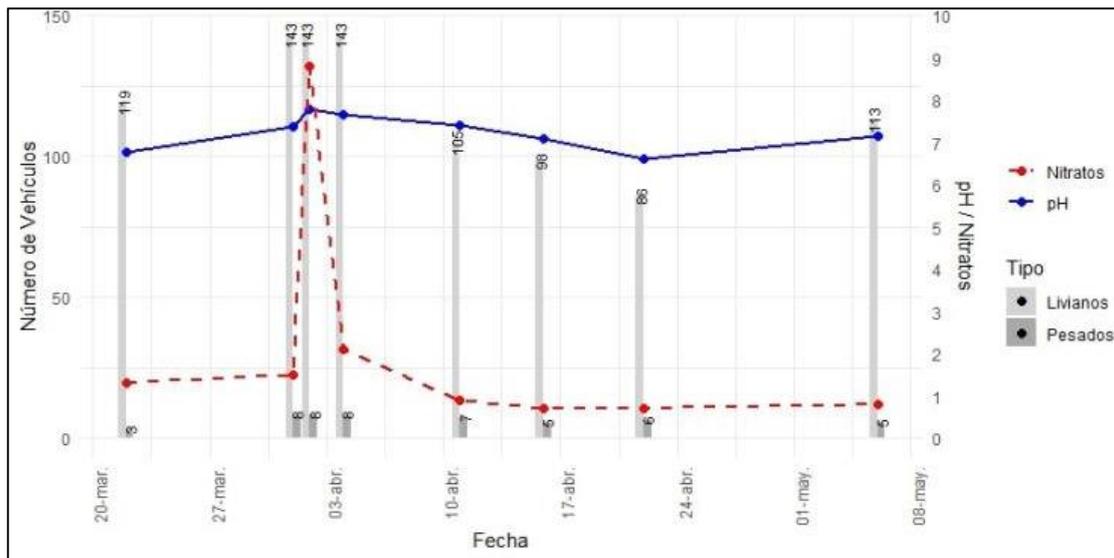


Figura 14. Variabilidad temporal en el barrio Zamora Huayco del tráfico vehicular con el pH y los nitratos.

6.4.2. Variación temporal de las precipitaciones entre el pH y los nitratos

Las precipitaciones es un componente que puede generar variaciones en el pH y las concentraciones, las relaciones de las lluvias con otras partituras en la atmosfera pueden tener efectos en la concentración de contaminantes. En caso de la Figura 15, las precipitaciones no tienen a cambiar el pH en el sector, pero en caso de los nitratos si tiene un efecto, cuando sucede una precipitación intensa la concentración de los nitratos baja, pero en si el cambio es bajo, cuando hay precipitaciones débiles se observó un ligero aumento en la concentración de nitratos.

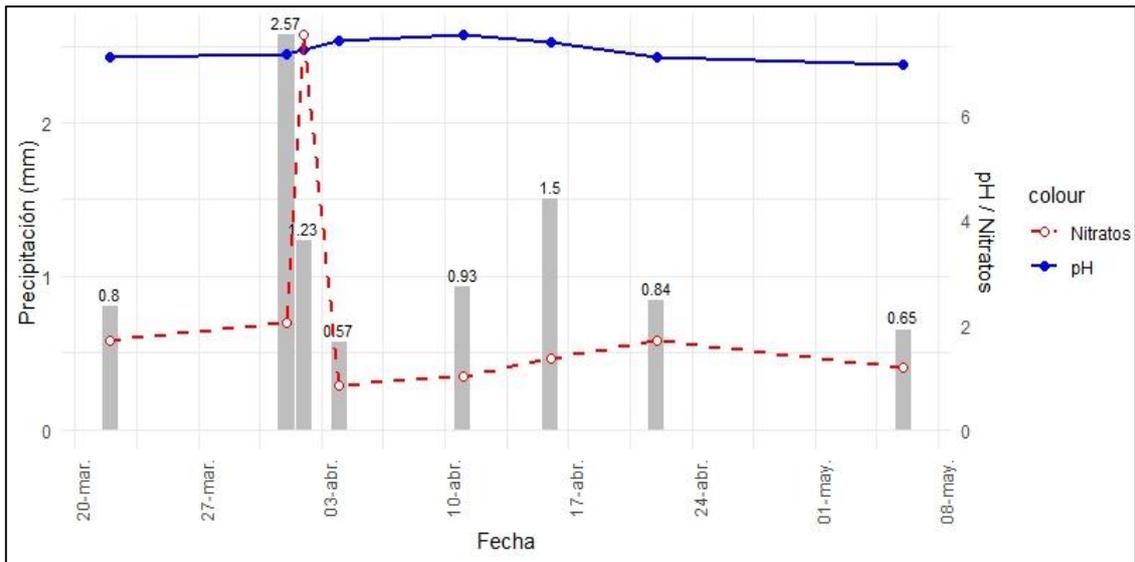


Figura 15. Variabilidad temporal en la Terminal Terrestre de las precipitaciones con el pH y los nitratos

En la “Bomba Quemada” se ve una relación entre el aumento de las precipitaciones y la variación en las concentraciones de los nitratos, esto distingue mejor en este sector, se demuestra que hay una relación inversa entre las precipitaciones y los nitratos en cada muestra.

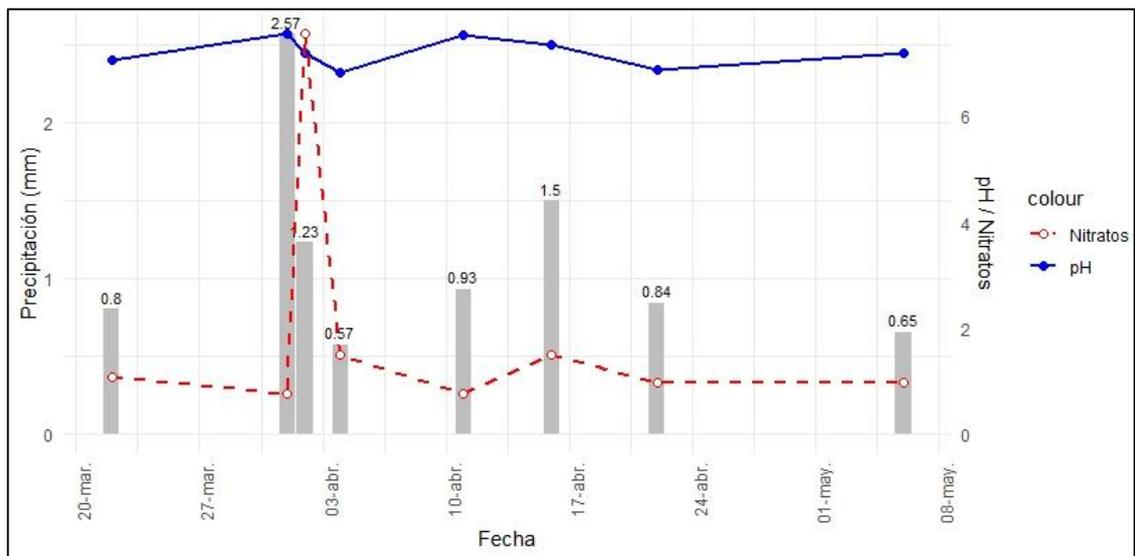


Figura 16. Variabilidad temporal en la “Bomba Quemada” de las precipitaciones con el pH y los nitratos

Se muestra en el barrio Zamora huayco una relación directa entre las precipitaciones con la concentración de los nitratos, aunque este comportamiento no es típico puede estar ligado a otros componentes en la atmosfera, es más perceptible en las últimas 4 muestras (Figura 17).

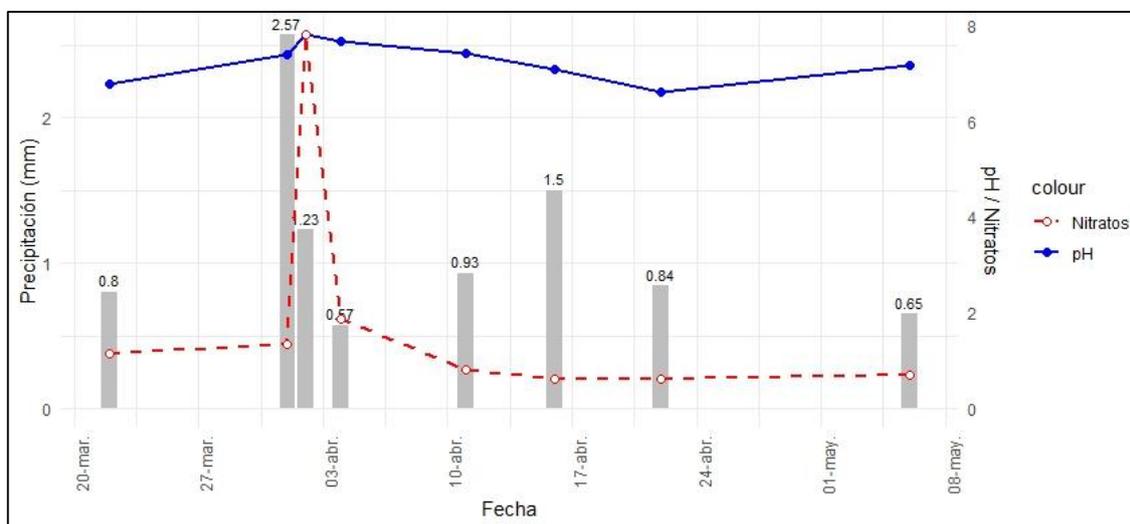


Figura 17. Variabilidad temporal en la “Bomba Quemada” de las precipitaciones con el pH y los nitratos

6.5. Análisis correlacionales

Para el análisis de las correlaciones se tomaron en consideración a las concentraciones de nitratos y sulfatos, el cual se los relacionó con el pH y con la conductividad por medio una prueba de Spearman. Hay que considerar que, de las 10 muestras analizadas en el laboratorio, dos de ellas fueron retiradas de los análisis por presentar datos atípicos en la conductividad y la concentración de sulfatos. Además de que no se tomaron en cuenta los sulfatos para las correlaciones por falta de datos, al no registrar concentraciones representativas en las muestras de agua de lluvia. Las correlaciones se hicieron por medio del coeficiente de Spearman, dado que los datos no presentaron una distribución normal.

6.5.1. Correlación entre pH y Nitratos

Se realizó una prueba de correlación entre el pH y los nitratos para verificar la relación de la concentración de nitratos en la variabilidad del pH. El análisis se hizo por cada sector y se generó figuras que demuestran dichas relaciones. Como se muestra la tabla 5, en los sectores del Terminal y la “Bomba quemada” se evidencia que hay una relación negativa que a medida que la concentración de los nitratos sube el nivel del pH baja, aunque la relaciones no son significativas dada a la débil tendencia de los datos, esto debido a las bajas concentración y pocas muestras. Por otro lado, en el barrio Zamora Huayco se evidencia una relación positiva significativa, es un comportamiento anormal teniendo en cuenta a los demás sectores, aunque esto puede ser debido a la interferencia de otros componentes en la atmosfera como la presencia de material particulado.

Tabla 5. Correlación entre pH y nitratos

Variables	Coefficientes	Terminal Terrestre	Bomba Quemada	Zamora Huayco
pH-Nit	p-valor	0,33	0,28	0,02
	Rho	-0,40	-0.44	0,79

*pH-Nit = Correlación entre pH y nitratos.

6.5.2. Correlación entre Conductividad y Nitratos

La correlación de la conductividad y los nitratos en los tres sectores demostraron ser negativas, lo que indican que es una relación inversa no significativas, en situaciones normales la presencia de nitratos conlleva a un aumento de la conductividad, pero en este caso no se ve esa relación, lo cual no es concluyente por las bajas concentraciones de nitratos y el número limitado de muestras (Tabla 6).

Tabla 6. Correlación entre Conductividad y nitratos

Variables	Coefficientes	Terminal Terrestre	Bomba Quemada	Zamora Huayco
Cond-Nit	p-valor	0,32	0,56	0,65
	Rho	-0,41	-0,24	-0,19

*Cond-Nit = Correlación entre Conductividad y nitratos.

6.5.3. Correlación entre Vehículos y Nitratos

Las correlaciones entre los tipos de vehículos con la concentración de nitratos se pueden observar en la tabla 7, se evidencia en la relación de los vehículos livianos que los puntos con mayor tráfico tienden a ser no significativas, si bien el terminal terrestre muestra una relación positiva, la “Bomba Quemada” demuestra lo contrario, no obstante se obtiene un resultado significativo en “Zamora Huayco”, este sigue una relación positiva con significancia, lo que refiere que en esa zona la concentración de nitratos está influenciada directamente por el tráfico vehicular. Sin embargo, el número de muestras puede haber influenciado en los resultados, aunque se puede argumentar que las diferentes condiciones que los tres puntos pudieron haber influenciado en los resultados.

Por otro lado, la correlación entre los vehículos pesados y los nitratos, los tres puntos que presentan una relación no significativa, aunque solo el sector de “Zamora Huayco” presenta una relación positiva, y se puede establecer que las diferentes condiciones de cada lugar influenciaron los resultados.

Tabla 7. Correlación entre tipos de vehículos y nitratos

Variables	Coefficientes	Terminal Terrestre	Bomba Quemada	Zamora Huayco
Liv-Nit	p-valor	0,73	0,73	0,01
	Rho	0,15	-0,15	0,87
Pes-Nit	p-valor	0,92	0,84	0,07
	Rho	-0,40	-0,44	0,67

*Liv-Nit = Correlación entre Vehículos livianos y nitratos, Pes-Nit = Correlación entre vehículos Pesados y nitratos.

6.5.4. Correlación con datos de remuestreo por Bootstrap

Se realizó correlaciones tomando en cuenta los datos generados por un remuestreo por Bootstrap, se utilizaron las mediciones de las muestras en el estudio y como medida tendencia central los promedios de cada conjunto de datos, esto se hizo para los nitratos, pH, conductividad, número de vehículos livianos y pesados. Se generaron datos para un número de 20 y 30 muestras, estas estimaciones siguen la tendencia de los datos obtenidos en campo, esto nos permitió verificar si el número de muestras afecta los resultados finales. Tomando en cuenta que los nuevos datos presentaron en su mayoría una distribución no normal, se optó en usar la correlación de Spearman, nos permitió comparar los coeficientes por número de muestras para observar cambios en sus relaciones.

Respecto a la comparación de los coeficientes (tabla 8 y 9), se puede observar que las correlaciones se refuerzan más con 30 muestras, en cambio con los datos de 20 muestras no se presenta el mismo caso ya que los cambios son mínimos. No obstante, la mayoría de los coeficientes de correlación de los remuestreos demostraron no tener significancia según el número de muestras estimadas, lo cual se puede establecer que el número de muestras no depende de la representatividad para las correlaciones en este caso.

Tabla 8. Comparación de coeficientes de correlación pH-Nitrato y Conductividad-Nitrato

Correlación	Coeficientes	Estudio (8 muestras)			Reemuestreo (20 muestras)			Reemuestreo (30 muestras)		
		TT	BQ	ZH	TT	BQ	ZH	TT	BQ	ZH
pH-Nit	Rho	-0,40	-0,44	0,79	-0,33	0,09	0,28	-0,16	0,247	0,03
	p-valor	0,33	0,28	0,02	1,15	0,71	0,24	0,40	0,19	0,87
Cond-Nit	Rho	-0,41	-0,24	-0,19	0,05	-0,17	-0,02	0,24	0,33	0,34
	p-valor	0,32	0,56	0,65	0,84	0,46	0,92	0,20	0,08	0,06

*TT: Terminal Terrestre, BQ: Bomba Quemada, ZH: Zamora Huayco.

*pH-Nit = Correlación entre pH y nitratos; Cond-Nit = Correlación entre Conductividad y nitratos.

Tabla 9. Comparación de coeficientes de correlación Vehículos-Nitratos

Correlación	Coeficientes	Estudio (8 muestras)			Reemuestreo (20 muestras)			Reemuestreo (30 muestras)		
		TT	BQ	ZH	TT	BQ	ZH	TT	BQ	ZH
Liv-Nit	Rho	0,15	-0,15	0,87	0,15	-0,18	0,09	-0,23	0,34	0,24
	p-valor	0,73	0,73	0,01	0,53	0,44	0,70	0,22	0,07	0,20
Pes-Nit	Rho	-0,40	-0,44	0,67	-0,23	-0,14	-0,03	0,02	0,20	0,03
	p-valor	0,92	0,84	0,07	0,33	0,56	0,90	0,92	0,28	0,89

***TT**: Terminal Terrestre, **BQ**: Bomba Quemada, **ZH**: Zamora Huayco.

***Liv-Nit** = Correlación entre Vehículos livianos y nitratos; **Pes-Nit** = Correlación entre vehículos Pesados y nitratos.

7. Discusión

El estudio de la composición del agua de lluvia realizado en la ciudad de Loja proporcionó datos importantes sobre las concentraciones de nitratos y sulfatos, sobre los sulfatos las mediciones confirmaron la ausencia de este acidificante en el agua, lo cual la investigación se enfocó en el análisis de los nitratos que presentaron una concentración que no aportó al problema de la lluvia acida, esto al presentarse valores de pH promedio que muestran neutralidad (7 a 8 pH) en las muestras de agua. Además, se analizó las variables meteorológicas obtenidas en el estudio para comprobar su influencia en la composición en el agua de lluvia, conforme con el tráfico vehicular como principal emisor de los nitratos y sulfatos.

Sobre la meteorología del centro de la ciudad de Loja en el mes de marzo, abril y mayo del 2024, se registraron la medición de las precipitaciones en estas fechas ya que son épocas lluviosas. Para Samaniego et al. (2015), demuestra que las tendencias en la zona sur del Ecuador presentan mayores periodos de precipitaciones en los meses diciembre a mayo, condiciones que son perceptibles en la ciudad de Loja, además los tipos de precipitaciones frecuentes en estas zonas son las lluvias y lloviznas. No obstante, durante el estudio se presentaron precipitaciones irregulares con promedios de entre 1,65 a 2,3 mm. Para Carrión et al. (2022), la inestabilidad de las precipitaciones en la ciudad de Loja es causada por el fenómeno del niño, esto lo confirma Hidalgo (2017), evidencia que las bajas frecuencias y mediciones de precipitación son causados por el fenómeno de El niño, ya que este efecto ocasiona que las temperaturas aumenten y que exista una disminución en las lluvias en las zonas andinas del Ecuador.

Estas situaciones presentaron variabilidades en las muestras de agua, que según Mora-Barrantes et al. (2020), que a medida que la lluvia cae arrastra mayormente contaminantes de la atmosfera, esto en las primeras lluvias, esta condición disminuye a medida que continua las

precipitaciones, lo cual los eventos dependen que las precipitaciones sean fuertes o prolongadas pueden variar las concentraciones de los contaminantes, esto lo afirma Pokrývková et al. (2016), que las gotas de lluvia incorporan gases y partículas que entran en una fase acuosa que pueden generar reacciones y formar compuestos complejos. Tanto los tipos de lluvia y la intensidad, produjeron problemas en el estudio por el volumen de las muestras de agua, de los 23 eventos de lluvia que sucedieron de entre marzo a mayo, solo 10 pudieron ser receptadas, esto por la variabilidad de la precipitación en cada punto de monitoreo, esta situación se dio por la sequía presentada en 2024 en el Ecuador, la cual genero problemas a nivel nacional (Chasiluisa et al., 2024).

Por otro lado, para Carrión et al. (2022), la clasificación climática de Köppen en la ciudad de Loja nos indica que tiene un clima mesotérmico o templado húmedo, por igual la ciudad de Loja tiene una temperatura media anual de 16 °C. Sin embargo en este estudio se obtuvieron que en los meses de marzo y mayo del 2024 un promedio de 18 °C en el centro urbano, lo cual para Vélez et al. (2010), argumenta que la presión atmosférica puede variar por cambios en la densidad y temperatura, además, nos indica que la temperatura en algunos contaminantes gaseosos les favorece para las transformaciones químicas en compuestos acidificantes, lo cual aumenta los iones de los nitratos y sulfatos en el agua de lluvia.

No obstante, las temperaturas de la ciudad de Loja tienden a variar cuando hay periodos de precipitación, por lo tanto, las temperaturas no presentan mayor problema en las concentraciones de los iones en las muestras de agua de lluvia. Las mismas relaciones se pueden encontrar en el estudio de López y Herrera (2011), que se realizó en Colombia que determina que las temperaturas fluctúan de entre 8 a 20 °C, en los meses de junio a agosto, además asegura que las concentraciones de nitratos y sulfatos aumentan, pero las mediciones de pH también aumentan. Sin embargo la temperatura y la velocidad del viento tienden a estar relacionadas

durante el estudio, esto al comprobar las variaciones temporales, cuando hay condiciones de equilibrio térmico el viento no varía en su velocidad, pero cuando existen precipitaciones prolongadas las temperaturas bajan y por consiguiente las velocidades también bajan.

La velocidad del viento registra promedios de entre 1,37 a 1,82 m/s, tomando en consideración la escala de Beaufort que categoriza las velocidades dando una denominación, según el rango se identificaron de los vientos que se presentaron en estudio fueron las ventolinas (0,5 a 1,5 m/s) y brisas ligeras (1,6 a 3,3 m/s), también se determinó que más del 30% de los vientos registrados fueron de Calma (0 a 0,5 m/s) (Magaña et al., 2010). Tanto Garcia et al. (2014) y Yang et al. (2019), reconocen que los vientos en calma (0 a 0,5 m/s) y las brisas ligeras (1,6 a 3,3 m/s) tienden a ser ineficientes para la dispersión de contaminantes, estos al determinar que el material particulado y otros contaminantes con mayor concentración a diferencias de otras zonas con vientos mayores a 5 m/s de velocidad, se tienen en cuenta otros eventos como el de inversión térmica que puede aportar en la concentración de los contaminantes. Estos eventos pueden explicar la presencia de material particulado en las muestras de agua en el estudio, además las concentraciones de algunas muestras que presentaron una variabilidad importante en las concentraciones conforme con el tráfico vehicular en cada punto de monitoreo.

Por consiguiente, el tráfico vehicular que se registró en los tres puntos, los vehículos livianos son los más frecuentes seguidos de los vehículos pesados. Se recalca que los vehículos especiales se excluyeron del análisis, por no presentar datos en esta categoría. Los vehículos livianos están mayormente presentes que de los tipos pesados, se puede decir en relación que por cada vehículo pesado pasan 10 livianos. Cabe señalar que en las horas de muestreo que se contabilizaron más vehículos, fue en la hora de la mañana (7H00 a 8H00) seguido de tarde

(18H00 a 19H00), esto coincidiendo en las horas de entrada y salida de las jornadas laborales de la ciudad de Loja

De igual forma, se puede establecer situaciones similares en la investigación de Rivera et al. (2020), que realizaron un análisis del tráfico vehicular y un inventario de emisiones contaminantes en la ciudad de Cuenca, donde determinan que en el centro histórico existe un mayor flujo de vehículos livianos como automóviles y minivan que son utilizados por el sector turístico de la ciudad. Además, identificaron que las horas pico en el centro histórico van en horarios de 7H00 a 8H00 en la mañana, de 12H00 a 12H00 al medio día y de 18H00 a 19H00 en la noche. Esto coincidió con los horarios propuestos en el presente estudio. Además, se señala que el mayor flujo de tráfico vehicular ocurre al inicio y al finalizar la jornada laboral.

Sobre las emisiones en la ciudad de Loja, existe un estudio realizado por el MAE (Ministerio del Ambiente), que realizaron un inventario de emisiones para varias ciudades en el año 2010, tomando en cuenta a la ciudad de Loja entre otras, dando como resultado las mediciones anuales de los contaminantes atmosféricos recurrentes en las zonas urbanas, encontrando que los gases de nitrógeno (NO_x) con emisiones de 2 420,7 t/a y para dióxido de azufre (SO_2) de 241,4 t/a (Parra et al., 2015). Se demuestra que las emisiones de dióxido de azufre (SO_2) en la ciudad presentan mediciones más bajas en comparación con los gases de nitrógeno (NO_x), tales tendencias son comparables a lo medido en las muestras de agua en el estudio. Asimismo, se puede observar en el estudio de Calla y Luján (2017), que el mayor tráfico vehicular del centro urbano de la ciudad de Cochabamba en Bolivia, presenta un mayor flujo de vehículos privado y públicos, que son en su mayoría automóviles y otros vehículos livianos (camionetas y motocicletas), además en aquel estudio se realizó un inventario de emisiones en donde se evidencia que las emisiones de gases de azufre (SO_2) en la zona centro fue de 5,6 mg/año, muy bajo en comparación a las demás variables como los gases de nitrógeno

(NO_x) que obtuvieron emisiones de 8 885,31 mg/año, en consecuencia no realizaron un análisis profundo de los gases de azufre.

Recapitulando lo anterior, se puede establecer que hay una relación entre el tráfico vehicular con las emisiones contaminantes de gases de nitrógeno y de azufre, ya que existe un flujo mayor de vehículos livianos en comparación de los tipos pesados, lo que se ve reflejado por el tipo de combustible que los vehículos usan. De igual manera, en un informe presentado por Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV, 2018) analizaron el octanaje y la concentración de azufre en los combustibles disponibles en 31 estaciones de servicios de aquella ciudad, donde determinaron que el diésel “Premium” presenta una concentración de 66,5 ppm de azufre en comparación con la gasolina “Ecopaís” que contiene 1 ppm, esto permite establecer que la baja cantidad de vehículos pesados repercutieron en la concentraciones de dióxido de azufre emitidos a la atmosfera que posteriormente precipitan en la lluvia.

Por consiguiente, las concentraciones de nitratos y sulfatos en las muestras de agua lluvia en los tres puntos de monitoreo mostraron que hay una ausencia de los sulfatos, al no encontrar concentraciones de este contaminante; sin embargo, se obtuvo una medición atípica (Anexo 23) que superaba el rango de medición del espectrofotómetro, por lo cual se excluyó de los análisis por presentar una alta variabilidad. Estos eventos pueden atribuirse a los periodos de aumento de la temperatura y sobre todo en las precipitaciones que surgieron en el transcurso de la investigación, en el estudio de López y Herrera (2011), atribuyen a que los factores de temperatura y precipitación, generan una interrupción del proceso de acidificación por la variación del viento, esto implica que aumenten las concentraciones de nitratos y sulfatos en las muestras de agua, aunque la tendencia del pH aun superaba el nivel de 7.

Sobre los nitratos, las concentraciones presentaron promedios de entre 1,3 a 2,1 mg/l, situaciones similares se observaron en el estudio de Díaz et al. (2014), que determinaron las concentraciones de iones de nitratos y sulfatos en la composición de agua de lluvia en la ciudad de Sinaloa en México, donde analizaron el parque automotor de la ciudad y la creciente industria de ladrillera para determinar acidez en las precipitaciones, encontrándose que tenían mayor concentración de iones de nitrógeno que de azufre, aunque en ambos casos presentaron valores mayores a 0,2 mg/l, lo que se atribuye a que no exista lluvia ácida por las bajas concentraciones de los dos contaminantes.

No obstante, en la investigación de Bolaños et al. (2024), obtuvo una concentración de nitratos promedio de 2,25 mg/l, en comparación con los sulfatos que fueron superiores con promedios de 6,8 mg/l en las muestras de agua, en la que detectaron un bajo pH, sin embargo, hay otros elementos como los iones de Cloruro (Cl^-) y Fluoruro (F^-) que aportan acidez al agua. Situaciones similares presento el estudio de Bolaños-Mora et al. (2016), determinaron promedios de nitratos menores a 1 mg/l en comparación de los sulfatos con promedios mayores de entre 1 a 3 mg/l en el agua de lluvia, igualmente presentaron acidez, pero están sujetas a otros elementos ya antes descritos. Se puede establecer que la acidez del agua no solo depende de un contaminante, lo que sugiere que las concentraciones nitratos y sulfatos del centro de la ciudad de Loja son insuficientes para disminuir el pH de la lluvia, además se tiene en cuenta sobre la poca presencia de los sulfatos influyo en los resultados del pH en los tres puntos de monitoreo, sin embargo la medida atípica de la concentración de sulfato en la muestra número nueve (Anexo 24 y 25), esta no presento cambios significativos en la medición del pH.

En consecuencia, los valores de pH en el centro de la ciudad de Loja presentaron un nivel neutro (Anexo 24), con valores promedio de entre 7,20 a 7,24 en cada sector, pero según Obando (2017) la lluvia normalmente tiene un pH de 5,6 esto por la presencia de dióxido de

carbono en la atmósfera; sin embargo, en el estudio de Liu et al. (2019), aseguran que hay elementos disponibles en la atmósfera llamadas “sustancias alcalinas” que interfieren en los procesos de acidificación de la lluvia, además el rango de alcalinidad según Crittenden et al. (2012), dice que el agua presenta un nivel bajo y que es vulnerable a los cambio del pH. En las muestras de agua recolectada de los tres puntos en la zona urbana de la ciudad, se encontró material particulado de color blanquecino amarillento, que se presume que pudo haber generado un proceso de neutralización del pH, aunque la composición del material es desconocida, en un estudio realizado en Riobamba por Santillán et al. (2024), determinaron que la composición del material particulado está conformado en su mayoría de Calcio, silicio y aluminio; esto en zonas pobladas con cercanías a vías de transito habituales.

Estas condiciones observadas en el presente estudio son similares a las que registraron Burbano y Figueroa (2014), en períodos de tiempo sin precipitaciones y al tener las primeras lluvias las concentraciones de sulfatos en las muestras de agua lluvia fue baja en comparación con los períodos altas precipitaciones, lo que le atribuyen a un efecto de neutralización por los compuestos alcalinos en la atmosfera. Esto también es evidenciable en el estudio de López et al. (2016), realizado en Cuba, que demostró que una de las tres zonas de su estudio el agua de lluvia tenía un pH neutro, esto por la presencia de altas concentraciones de potasio. Además, según Vélez et al. (2010), indica que el valor de la conductividad del agua en forma normal tendría 0 uS/cm, pero en aguas acidificadas tiene una conductividad mayor a los 20 uS/cm, aunque el agua de los tres puntos de monitoreo si supero este umbral, no obstante, no presentó un descenso de pH considerable.

Mediante análisis estadísticos utilizando la correlación de Spearman, se determinó que existe una débil correlación inversamente proporcional entre el pH y los nitratos, lo que significa que a medida que aumentan los nitratos, el pH tiende a disminuir ligeramente, estas

relaciones se dieron en el sector del Terminal (-0,40 rho) y en la “Bomba Quemada” (-0,44 rho). Sin embargo, esta relación es débil debido a las bajas concentraciones de nitratos y no es significativa por el limitado número de muestras colectadas, estas condiciones para el Terminal terrestre (p-valor 0,33) y la “Bomba Quemada” (p-valor de 0,28). Además, se detectó que el punto de “Zamora Huayco” (p-valor 0,02) no sigue este patrón y representó una relación directa al demostrarse que, al aumentar los nitratos, el pH también aumentaba (0,79 rho), esta relación se puede explicar que sigue un patrón ya que los nitratos aumentan y el pH del agua también aumenta, se atribuye que la concentración de nitratos no altera el nivel de pH.

En comparación con la relación de los nitratos y la conductividad, no presenta relaciones significativas (p-valor > 0,5), además hay relaciones negativas que no se esperaban, ya que al aumentar las concentraciones de los contaminantes la conductividad debe subir, pero en este caso bajan, esto puede ser resultado de otros elementos en la atmosfera y por la presencia del material particulado en los tres puntos.

Sobre las correlaciones de los nitratos con los vehículos, se atribuir que las relaciones no son significativas en su mayoría (p-valor > 0,05), además se presenta una relación significativa con la correlación entre nitratos y los vehículos livianos (p-valor 0,01) en el punto de “Zamora Huayco” (0,87 rho), lo que evidencia en esta zona es que hay disminución del tráfico vehicular liviano durante el estudio, lo que coincidió con la disminución de los nitratos.

Sin embargo, las correlaciones con las muestras del remuestreo bootstrap, determinaron que el número de muestras de 20 y 30, estas estimadas con los datos reales, no tienen relaciones significativas (p-valor > 0,05), lo que se atribuye que el número de muestras no afectó a los análisis estadísticos, sin embargo, presentan un ajuste en las correlaciones. Dichos ajustes demuestran lo esperado en la investigación, pero no se establece una relevancia significativa ya que se evidencia que el número de muestras es indiferente a las relaciones entre los nitratos y

las demás variables, esto determinando que la concentración de nitratos no produce variaciones importantes en el pH de la lluvia en los tres puntos de monitoreo de la ciudad de Loja

En consecuencia, en base al análisis de las muestras de agua de los tres puntos monitorizados, así como en los análisis estadísticos realizados, se puede responder a la pregunta que generó la presente investigación, ya que las concentraciones de nitratos y sulfatos emitidas por el parque automotor no produjeron variaciones notables de pH, esto por la intervención de elementos atmosféricos como el material particulado que probablemente interfirieron generando un proceso de neutralización en las muestras de agua de la lluvia, además que las condiciones del clima durante las precipitaciones fueron inestables por el inicio de la sequía del 2024, se puede establecer que las muestras de agua recolectadas no presentan concentraciones de nitratos y sulfatos que puedan producir acidez en el agua de lluvia en los tres puntos de monitoreo de las zonas urbanas de la ciudad de Loja.

8. Conclusiones

Con base al estudio realizado y los resultados recabados se puede establecer las siguientes conclusiones:

Las variables meteorológicas en la ciudad de Loja en el segundo trimestre del 2024 presentaron períodos de precipitaciones inestables por el Fenómeno de “El niño”, provocando un aumento de la temperatura media anual en dos grados, que generó variaciones en la velocidad del viento en presencia de las precipitaciones, lo que provocaría una concentración de contaminantes en cada sector.

El mayor flujo vehicular en los tres sectores evaluados corresponde a vehículos livianos, que son los que aportan la mayoría de las emisiones en la ciudad, cuyos horarios picos de mayor circulación se concentra en la mañana y noche, es decir, al inicio y final de la jornada laboral, mientras que la poca afluencia de vehículos pesados pueden estar relacionadas con las concentraciones sulfatos obtenidas en el estudio.

La concentración de nitratos y sulfatos en la composición del agua lluvia de los tres sectores de Loja no producen acidez, presentándose un pH neutro en todas las muestras de agua. Sin embargo, el análisis de alcalinidad en las muestras de agua lluvia mostró poca tolerancia a cambios del pH, por lo que la lluvia en la ciudad Loja sería vulnerable a los procesos de acidificación.

9. Recomendaciones

Con el estudio realizado se pueden establecer las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones relacionadas al tema:

- Aumentar los puntos de monitoreo y el número de muestras del agua lluvia para una mayor representatividad de las zonas urbanas y así evitar problemas con el análisis estadístico de los datos.
- Posicionar más recolectores en cada punto para aumentar el volumen de las muestras, esto por la variabilidad de las precipitaciones en la ciudad de Loja.
- Realizar análisis de componentes alcalinos como carbonatos y sales para determinar procesos de neutralización.

10. Bibliografía

- Antamba, J., Reyes, G. y Granja, Miguel. (2016). Estudio comparativo de gases contaminantes en un vehículo M1, utilizando gasolina de la Comunidad Andina. Revista Enfoque. Vol.7, No.3. Pág. 110
- Armijos, M., Gonzalez, V. y Fries, A. (2018). Caracterización de variables meteorológicas a ser usadas como fuentes de energía en la región sur del Ecuador. Revista GEOESPACIAL Vol. 15, No 2. Pág. 13
- Baouzhu, G., Gnbaguidi, A. y Zhang, Quixing. (2016). Source Identification of Acid Rain Arising Over Northeast China: Observed Evidence and Model Simulation.
- Barcelona, L., López, R., Martínez, M., Pire, S., Hernández A., Cuesta, L. y Pérez, G. (2015). Calidad del aire en la Ciudad Universitaria José Antonio Echeverría por partículas e inmisiones de NO₂ y SO₂. UCE Ciencia. Revista de postgrado. Vol.3. Pág. 3.
- Barreto, L. (2019). Algunos elementos básicos sobre la Lluvia Ácida: Información complementaria (IDEAM–METEO/05-2019).
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/96987851/ALGUNOS%20ELEMENTOS%20BASICOS%20SOBRE%20LA%20LLUVIA%20ACIDA.pdf>
- Bolaños, K., Alfaro, S. y Sibaja, P. (2024). Mediciones y el modelaje de la concentración del dióxido de azufre y la composición del agua de lluvia en los alrededores del volcán Poás durante el 2017 en Costa Rica. Revista de Estudio Latinoamericanos sobre la reducción de riesgos de desastres (REDER). Vol. 8, No.1, Pág.1.

- Bolaños-Mora, R., Sibaja, J., Mora, J., Esquivel, G., Alfaro, S. y Valdés, J. (2016). Características químicas y físicas del agua de las nubes y del agua de lluvia en la reserva del Bosque Nuboso Monteverde, Costa Rica. *Revista Asociación Química Argentina, XXXI Congreso Argentino de Química*. Vol. 103, No.1. Pág. 1.
- Burbano, M. y Figueroa A. (2014). Variabilidad espacio-temporal de aniones (SO_4^{2-} y Cl^-) en el agua lluvia de Popayán, Colombia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. Vol. 14. No.26. Pág. 13.
- Cal y Mayor, R. y Cárdenas, J. (2018). *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y Aplicaciones*, Novena edición. Editorial Alfaomega.
- Calla, L. y Luján, M. (2017). Inventario de emisiones de fuentes móviles con una distribución espacial y temporal para el área metropolitana de Cochabamba, Bolivia. *Revista Acta Nova*. Vol. 8, No.3. Pág. 1683
- Carnero, G. (2022). La conferencia de Estocolmo y el impulso a la protección jurídica internacional de la atmósfera: de lo transfronterizo a lo global. *Revista Catalana de DRET Ambiental*. Vol. 7, No. 2. Pág.1
- Carrera, P., Vaca, L., Segura, E. y Taco, M. (2021). Análisis de lluvia ácida en la ciudad de Nueva Loja, provincia de Sucumbíos. *Revista Green World*. Vol. 4, No. 2. Pág. 3.
- Carrión, G., Díaz, P., Quizhpe, P. y Campoverde, C. (2022). Cálculo histórico de anomalías climáticas en el cantón Loja y efectos en la salud. Libro de memorias del II Simposio de Investigación Científica UNL, Universidad Nacional de Loja, Loja – Ecuador. Pág. 77-89.
- Chasiluisa, S., Troya, Y., Romero, H. y Villavicencio, W. M. L. (2024). Alternativas de generación eléctrica en Ecuador: retos y desafíos. *Revista Polo del Conocimiento*, Vol. 9, No.10. Pág. 1128.

- Crittenden, J., Trussell, R., Hand, D., Howe, K., y Tchobanoglous, G. (2012). *MWH's Water Treatment: Principles and Design* (3rd ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. Pág. 51-50.
- Cruz, Z. y Gamed, G. (2008). Una visión universitaria: El pH, sustento en el equilibrio químico para la vida celular. *Revista CienciaUAT*. Vol. 2, No. 4. Pág. 62
- Demarchi, P. (2021). Calles de Corrientes: movilidad e inequidades. *Actas digitales del XL encuentro de Geohistoria regional*. Instituto de Investigaciones Geohistoricas.
- Díaz, M., Muy, M., Rubio, W. y Ramos, E. (2014). Monitoreo del pH del agua de lluvia para la ciudad de Culiacán, Sinaloa. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. Vol 10, No 1. Pág. 23
- Díaz, N., Ruiz, J., Reyes, E., Galván, A., Novo, J., Peinado, J., Meléndez, F. y Fiñana, I. T. (2010). Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. Universidad de Córdoba. Pág. 8
- Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte (EMOV). (2018). Informe técnico análisis de combustibles que se comercializan en el cantón Cuenca: Período marzo-julio 2018. Alcaldía de Cuenca.
- Fernández, S., Martín, D., Abia, I., Díez, E., Garrido del Pozo, N., Ortega, A., Palacio, B., Portillo, A. y Valcárcel, M. (2023). La precipitación engelante en España. Observación y predicción: Nota técnica 42 de AEMET. Agencia Estatal Meteorológica, España – Madrid.
- Flores, R. y Bonilla, P. (2010). Perfil de la Lluvia Ácida en la Ciudad de Quito (Ecuador) Durante los Meses de Diciembre-2008 y Enero-2009. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central*. Vol. 01, No 1. Pág. 28

- García, K. y López, R. (2023). Análisis de la acidificación de las precipitaciones en Cuba en el período 2012-2020. Cuba: Medio Ambiente y Desarrollo. Vol. 23. ISSN: 1683-8904.
- García, M., Ramirez, H., Meulenert, A., García, F., Alcalá, J., Arellano, J., Espinsa, M. y de la Torre, O. (2006). La contaminación Atmosférica precursor de lluvia ácida en la zona metropolitana de Guadalajara (Zmg), Jalisco, Mexico., México. Universidad de Guadalajara. e-Gnosis Vol.4, No. 7. E-ISSN: 1665-5745.
- García, M., Ulloa, H., Ramírez, H., Fuentes, M., Arias, S., y Espinosa, M. (2014). Comportamiento de los vientos dominantes y su influencia en la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. Revista Iberoamericana de Ciencias, Vol. 1. No.2. Pág. 97-116.
- Globe. (2005). Atmosphere Investigation at a Glance. A GLOBE® Learning Investigation.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Loja (GAD-Loja). (2019). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Actualización 2019-2023.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Loja (GAD-Loja). (2025). Oficio N°.0003-CMVL-AG-2024
- Gómez. P. (2001). Comportamiento especial y temporal de los contaminantes atmosféricos medidos por red de monitoreo de calidad del aire de Santiago. Tesis de Grado para la obtención del título de Químico Ambiental, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias.
- Granados, D. López, F. y Hernández, M. (2010). La lluvia ácida y los ecosistemas forestales. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Vol. 16, No 2. Pág. 191.
- HACH Company. (2013). Manual de Usuario DR 2800. Edición 4. Ames, Iowa, EE. UU.
- HANNA Instruments. (2022). Manual de Instrucciones HI 5521 y HI 5522 Medidores de sobremesa de Conductividad/Resistividad/TDS/Salinidad/ pH/mV/ISE/Temperatura.

- Hidalgo, M. (2017). Variabilidad climática interanual sobre el Ecuador asociada a ENOS. *Revista CienciAmérica*. Vol. 6. No.2. Pág. 32.
- Hurtubia, J. (2019). Breve examen al cambio climático, contaminación del aire y salud en Chile. *Revista Cuadernos Médico Sociales*. Vol. 59, No.1. Pág. 7
- INEC. (2022). Censo de población y vivienda 2022. Población a nivel Parroquias. Quito, Ecuador.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2017). Instructivo de ensayo. Determinación de alcalinidad en agua método 2320-B.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, (INEN). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2169:2013. Agua, Calidad del agua, Muestreo, Manejo y conservación de muestras.
- Kuskoski, M., Asuero, A., Troncoso, A., Mancini, J. y Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Vol. 24, No. 4. Pág. 726
- Ledesma, R. (2008). Introducción al Bootstrap. Desarrollo de un ejemplo acompañado de software de aplicación. *Revista Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*. Vol.4, No.2. Pág.51.
- Leyva, V. y Castillo, A. (2022). Biodisponibilidad de metales pesados en presencia de ácidos húmicos y fúlvicos en relación al pH del sedimento del humedal altoandino Collotacocha. *Revista Ciencia y Tecnología*. Vol. 18, No. 3. Pág. 79.
- Liu, Z., Yang, J., Zhang, J., Xiang, H. y Wei, H. (2019). A Bibliometric Analysis of Research on Acid Rain. *Revista Sustainability*. Vol. 11. No.11. Pág. 3077.
- López, R., Collazo, A. y Hernandez, F. (2014). Acidificación de las precipitaciones en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*. Vol. 20, No. 2. Pág. 165

- López, R., García, E., Collazo, A., Expósito, P. y Perdomo, A. (2016). Composición iónica de la lluvia y tipos de situaciones sinópticas en Cuba: Efectos en la contaminación atmosférica. *Revista Cubana de Meteorología*, Vol.22, No.2. Pág.141
- Lopez, V. y Herrera G. (2011). Diagnóstico de Lluvia Ácida y Condiciones Meteorológicas Asociadas en el Barrio La Candelaria – Bogotá D.C. *Revista Publicaciones e Investigación*. Vol. 5. Pág. 101.
- Magaña, E., Ramos, S., Carrera, J., Hernandez, J. y Valdés. (2010). Diseño del software de análisis de datos meteorológicos: Fase de prueba. *Revista Kuxulkab'*. Vol.16, No.30. Pág. 55.
- Mayorga, C., Ruiz, M. y Aldas, D. (2020). Percepciones acerca de la contaminación del aire generada por el transporte urbano en Ambato, Ecuador. *Revista Espacios*. Vol. 42, No. 17. Pág. 11
- Meza, M., Sotelo, D., Mejía, J., Aguirre, F., Díaz, A., Reynaldo, A., & Mejía, R. (2016). Evaluación de los Aniones del Agua de Consumo Humano del Distrito de Huacho. *Big Bang Faustiniiano*. Vol. 5, No. 4. Pág. 18
- Mora-Barrantes, J., Sibaja, J. y Borbón, H. (2020). Fuentes antropogénicas y naturales de contaminación atmosférica: Estado del arte de su impacto en la calidad fisicoquímica del agua de lluvia y de niebla. *Revista Tecnología en Marcha*. Vol. 34, No. 1. Pág.92.
- Obando, J. (2017). Influencia del agua en el desempeño de los pavimentos: lluvia ácida. *Revista Investigación e Innovación en Ingenierías*, Vol. 5. No.2. Pág. 190.
- Obando, V. (2017). Apuntes sobre la gestión urbana en el marco de las ciudades inteligentes. *Revista Centroamericana de Administración Publica*. Vol. 72. Pág. 70.
- Oduber, F. (2022). La calidad del aire que respiramos: impacto en la salud y el medio ambiente. *Revista Ambiociencias*. Vol. 20. Pág. 69.

- Organización Meteorológica Mundial. (1993). Manual de Observacion de Nubes y otros Meteoros.
- Ospina, O. y Ramirez H. (2014). Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia. *Revista Ingeniería Solidaria*. Vol. 10, No. 17. Pág. 125.
- Parra, R., Enríquez, M. y Molina, R. (2015). Inventario de emisiones de las ciudades de Loja, Azogues, Babahoyo y Quevedo año base 2010. *Revista Ecociencia Verde*. No. 1. Pág. 45.
- Pokryvková, J., Lackóová, L., Fuska, J., Tátošová, L., y Policht-Latawiec, A. (2016). The impact of air pollution on rainwater quality. *Annual Set The Environment Protection*. Vol.18, No.18. Pág.303.
- Quintero, J. (2016). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. *Revista Ambiente y Desarrollo*, Vol.21, No. 40. Pág. 57.
- Quintero, J. y Quintero, L. (2015). El transporte sostenible y su papel en el desarrollo del medio ambiente urbano. *Revista Ingeniería y Región*. Vo.14, No.2. Pág. 87-97.
- Rivera, N., Mata, C., Lalangui, J., Bermeo, A., Valdez, L. y Morocho, J. (2020). Análisis de emisiones contaminantes originados por el parque automotor en Cuenca. *Revista Risti*. No. 30. Pág. 376.
- Rodrigo. C., Seeger, M., Senciales, J., Ruiz-Sinoga, J. y Ries, J. (2016). Variación espacio-temporal de los procesos hidrológicos del suelo en viñedos con elevadas pendientes (Valle del Ruwer-Mosela, Alemania). *Revista Cuadernos de Investigación Geográfica*. Vol. 42, No.1. Pág. 281-306.
- Samaniego, N., Eguiguren, P., Maita, J. y Aguirre, N. (2015). Clima de la Región Sur el Ecuador: historia y tendencias. *Cambio climático y Biodiversidad: Estudio de caso de*

- los páramos del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador. Programa de biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. Pág. 45.
- Santillan, G., Herrera, Z., Mendoza, B. y Rivera, M. (2024). Determinación y caracterización de las concentraciones de material particulado sedimentable en el Barrio la Libertad Cantón Riobamba. *Revista Tesla*. Vol. 4, No. 2. Pág.1.
- Schulz, C. (1999). Apuntes del curso sobre Agua y medio ambiente. Editorial Cosypro Ltda. Pág. 190.
- Segarra, L. y Cobos, J. (2022). Clasificación y conteo vehicular mediante análisis de imágenes. *Revista MQRInvestigar*. Vol.6, No. 4. Pág. 313
- Severiche, C. y González, H. (2012). Evaluación analítica para la determinación de sulfatos en aguas por método turbidimétrico modificado. *Ingenierías USBMed*. Vol. 3, No. 2. Pág.6
- Terada, H., Ueda, H. & Wang, Z. (2001). Trend of acid rain and neutralization by yellow sand in east Asia numerical study. *Atmospheric Environment*. Vol. 36. Pág. 503.
- Turner, D. y Schulze, R. (2007). *Practical Guide to Atmospheric Dispersion Modeling*. Air and Waste Management. Trinity Consultants, Incorporated.
- Vanegas, L. y Mazzeo, N. (2012). La velocidad del viento y la dispersión de contaminantes en la atmósfera. Congreso Latinoamericano de Ingeniería de Vientos (CLIV).
- Vélez, J., Valencia, M., Londoño, A., González, C. y Mariscal, J. (2010). Contaminación del Aire y Lluvia Ácida: Diagnóstico del fenómeno en la ciudad de Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia. Editorial Blanecolor Ltda.
- Yang, J., Shi, B., Shi, Y., Marvin, S., Zheng, Y., y Xia, G. (2020). Air pollution dispersal in high density urban areas: Research on the triadic relation of wind, air pollution, and urban form. *Revista Sustainable Cities and Society*. Vol.54.

Zhixiong, X., Huayun, X. y Yu, X. (2022). Organic Acids in Sequential Volume-Based Rainwater Samples in Shanghai: Seasonal Variations and Origins. *Revista Atmosphere*. Vol. 13. Pág. 1502.

11. Anexos

Anexo 1. Certificado de traducción del resumen

Loja, 17 de febrero de 2025

Mgtr.

Edgar M. Castillo C.

**MAGÍSTER EN PEDAGOGÍA PARA LA ENSEÑANZA DEL IDIOMA INGLÉS
COMO LENGUA EXTRANJERA**

Certifica. -

Haber traducido de español a inglés el resumen del trabajo de integración curricular:
**Análisis de nitratos y sulfatos presentes en agua de lluvia en dos zonas urbanas de alto
tráfico vehicular de la ciudad de Loja**, de la autoría del estudiante Richard Fernando Loja
Astudillo, C.I.: 1401064272.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo el interesado hacer uso
del presente documento cuando lo considere conveniente.



Edgar M. Castillo C.
EFL TEACHER

Nro. Reg. Senescyt: 1031-07-785748

Anexo 2. Parque automotor por el Centro de Matriculación Vehicular de la ciudad de Loja



Oficio N°.0003-CMVL-AG-2024
Loja, 16 de enero 2025

Tnglo. Richard Fernando Loja Astudillo

Estimado Tnglo. Loja:

Me dirijo a Usted con un cordial saludo, en atención al oficio S/N de fecha 14 de enero del 2025; y recibido en Archivo del Centro de Matriculación con sumilla del Director de Transporte y Matriculación Vehicular el 15 de enero 2025, para dar atención a su requerimiento que indica:

"... ayuda con la información sobre la matriculación de los vehículos registrados en la ciudad de los últimos 5 años...".

Con los antecedentes antes descrito, el Centro de Matriculación y Revisión Técnica Vehicular a través del proceso de Archivo, se permite dar respuesta:

- 2020

REPORTE MENSUAL DE MATRICULACIÓN VEHÍCULAR													
FECHA	DEL 16 ENERO AL 23 DE DICIEMBRE 2020												
TIPO	MESES												TOTAL
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
GENERAL	1460	2751	1729	0	472	3558	3174	2862	2500	2720	2207	1345	24778
NUEVOS	128	187	131	0	69	76	148	108	131	187	142	225	1532
MOTOS	40	66	69	0	43	169	189	208	161	150	181	180	1456
PUBLICOS	58	52	6	0	2	23	22	13	17	22	23	5	243
ESTADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	1686	3056	1935	0	586	3826	3533	3191	2809	3079	2553	1755	28009

- 2021

REPORTE MENSUAL DE MATRICULACIÓN VEHÍCULAR	
FECHA	DEL 18 DE ENERO AL 29 DE DICIEMBRE 2021





TIPO	MESES												TOTAL
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
GENERAL	1121	2561	2787	1916	2345	2466	916	1677	2052	1955	2079	1256	23131
NUEVOS	78	122	168	113	93	126	60	109	110	64	131	192	1366
MOTOS	16	129	190	138	238	243	113	212	228	103	122	248	1980
PUBLICOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESTADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	1215	2812	3145	2167	2676	2835	1089	1998	2390	2122	2332	1696	26477

- 2022

REPORTE MENSUAL DE MATRICULACIÓN VEHÍCULAR													
FECHA	DEL 19 DE ENERO AL 29 DE DICIEMBRE 2022												
TIPO	MESES												TOTAL
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
GENERAL	753	2492	2329	2008	2163	2290	2107	2395	2145	1954	1816	965	23417
NUEVOS	64	99	123	98	84	128	156	184	160	163	141	207	1607
MOTOS	15	177	265	124	159	165	120	136	114	162	151	155	1743
PUBLICOS	0	3	4	0	0	0	0	1	2	9	5	13	37
ESTADO	0	1	5	0	0	0	0	0	1	0	0	2	9
TOTAL	832	2772	2726	2230	2406	2583	2383	2716	2422	2288	2113	1342	26813



• 2023

REPORTE MENSUAL DE MATRICULACIÓN VEHÍCULAR													
FECHA	DEL 16 DE ENERO AL 29 DE DICIEMBRE 2023												
TIPO	MESES												TOTAL
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
RENOVACIONES	1114	2625	3301	3340	3855	3597	3207	3511	2543	3458	2639	1240	34430
VEHICULOS NUEVOS PARTICULARES	105	105	163	193	154	153	140	169	118	141	138	195	1774
MOTOS NUEVAS	56	160	173	136	180	160	150	185	187	178	160	172	1897
VEHICULOS NUEVOS PÚBLICOS	3	15	4	7	9	9	9	8	4	5	6	19	98
VEHICULOS NUEVOS ESTATALES	0	4	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	7
TOTAL	1278	2909	3641	3676	4199	3919	3507	3873	2852	3782	2943	1627	38206

• 2024

REPORTE MENSUAL DE MATRICULACIÓN VEHÍCULAR													
FECHA	DEL 24 DE ENERO AL 30 DE DICIEMBRE 2024												
TIPO	MESES												TOTAL
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
RENOVACIONES ANUALES	460	2171	2733	2074	2610	1982	2232	2168	1759	1114	125	1084	20512
TRASPASOS DE VEHICULOS	110	439	424	351	456	326	335	303	264	254	0	141	3403
MATRICULAS CADUCADAS DE VEHICULOS	88	330	291	292	332	228	283	290	204	138	0	163	2639
DUPLICADOS DE MATRICULAS DE VEHICULOS	5	28	40	31	36	29	37	22	18	28	1	11	286
REPLAQUEO	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2
CAMBIOS DE SERVICIO	6	23	26	13	45	30	28	13	17	22	0	15	238
TRASPASOS DE MOTOS	13	70	35	18	71	55	61	41	37	43	0	22	466
MATRICULAS CADUCADAS DE MOTOS	5	27	18	12	32	18	21	28	17	10	0	9	197
DUPLICADOS DE MATRICULAS DE MOTOS	1	10	8	3	17	9	9	11	13	4	0	4	89
VEHICULOS NUEVOS PARTICULARES	60	112	122	136	134	78	115	110	70	90	101	121	1249
MOTOS NUEVAS	40	131	0	217	278	120	218	199	147	164	183	219	1916
VEHICULOS NUEVOS PÚBLICOS	3	1	0	0	0	5	4	6	12	13	1	16	61



VEHICULOS NUEVOS ESTATALES	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	4	4	13
TOTAL	791	3342	3697	3147	4011	2881	3347	3191	2560	1880	415	1809	31071

Es todo cuanto puedo manifestar.



ANA ESTHER HIDALGO
PARRALES

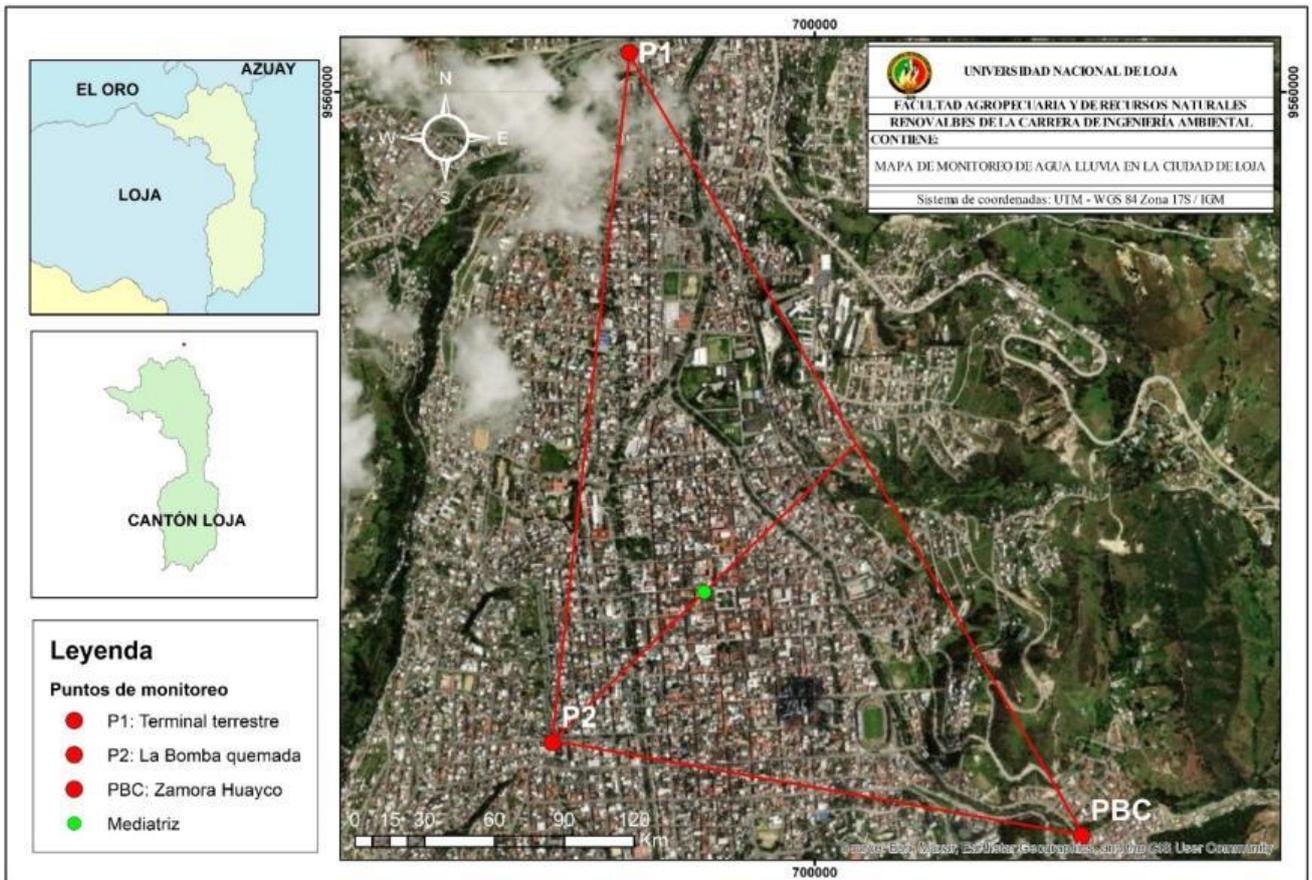
Ing. Ana Hidalgo Parrales

ANALISTA DE GESTIÓN DOCUMENTAL Y ARCHIVO





Anexo 3. Mapa de los puntos de monitoreo del estudio



Anexo 4. Mapa del punto de mediatriz para la ubicación de la estación meteorológica



Anexo 5. Instalación de la estación meteorológica.



Anexo 6. Grabación del conteo vehicular en la zona de la “Bomba Quemada”



Anexo 7. Trípode usado para la recolección de muestras del agua de lluvia



Anexo 8. Toma de las muestras de agua lluvia en las tres zonas de monitoreo



Anexo 9. Análisis de pH y conductividad



Anexo 10. Ensayo de alcalinidad

Anexo 11. Cálculo de equivalente químico gramo

Peso molecular del ácido sulfúrico:

$$PM_{H_2SO_4} = 98 \text{ gramos}$$

Calculo del gramo equivalente:

$$Eqg = \frac{PM_{H_2SO_4}}{H^+}$$

- **PM_{H₂SO₄}:** Peso molecular del ácido sulfúrico.
- **H⁺:** Numero de hidrogeniones.

$$Eqg = \frac{98 \text{ gramos}}{2} = 49 \text{ gramos}$$

Anexo 12. Cálculo del volumen de ácido sulfúrico para una disolución a 0,1 normal

Volumen de ácido sulfúrico:

$$V_{H_2SO_4} = \frac{Eqg * N}{d_{H_2SO_4}}$$

- **Eqg:** gramo equivalente del ácido sulfúrico.
- **N:** Normalidad deseada.
- **d_{H₂SO₄}:** Densidad del ácido sulfúrico.

$$V_{H_2SO_4} = \frac{49 \text{ g} * 0,1}{1,83 \text{ g/l}} = 2,68 \text{ ml/l}$$

Anexo 13. Cálculo de la normalidad del ácido estándar

Normalidad:

$$N = \frac{A * B}{53,00 * C}$$

- **A:** g Na_2CO_3 usados para la disolución.
- **B:** ml de solución de Na_2CO_3 tomados para la titulación.
- **C:** ml de ácido sulfúrico a 0,02 empleados.

Ensayo por triplicado:

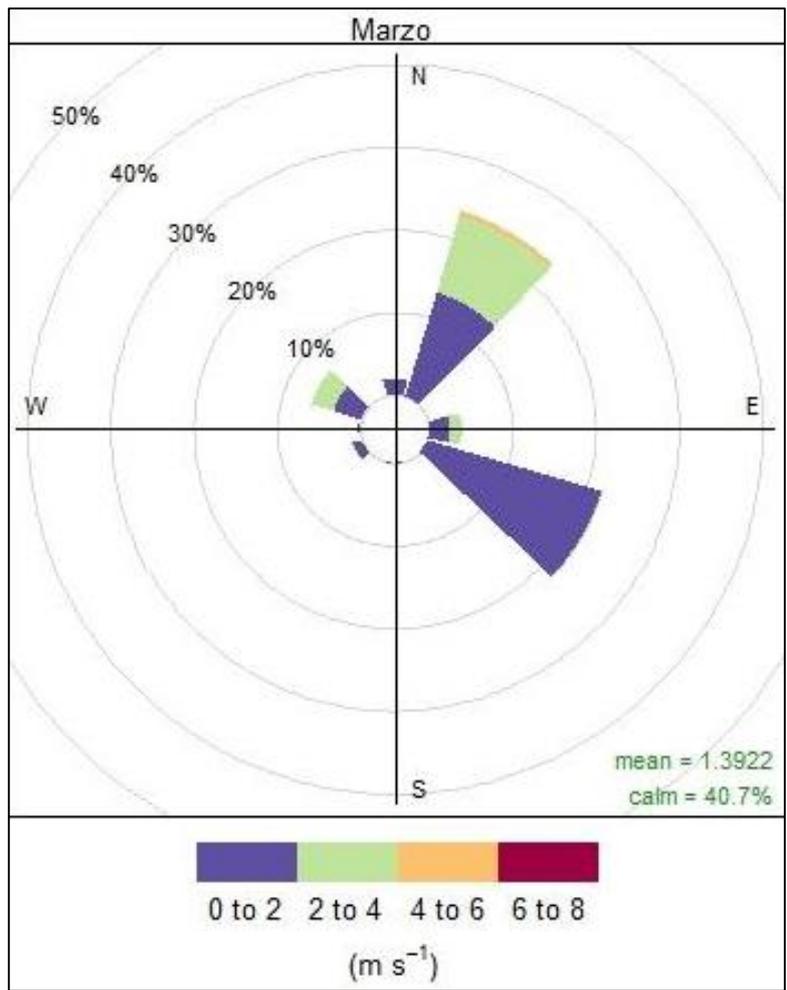
	a	b	c	
N	g de $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	ml de Na_2CO_3	ml del H_2SO_4 a 0,02 N	Normalidad
1	2,502	4	9,99	0,019
2	2,502	4	10,51	0,018
3	2,502	4	10,45	0,018
			Promedio	0,02



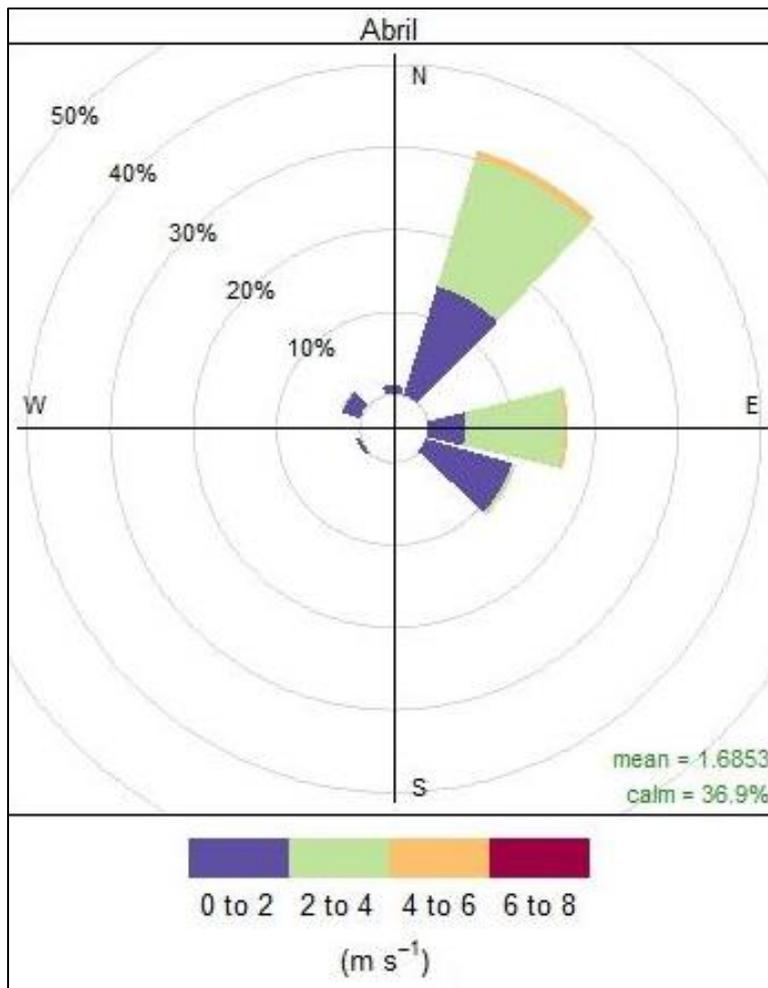
Anexo 14. Análisis espectro fotométrico

Anexo 15. Tabla Resumen de promedios de las Variables meteorológicas del estudio

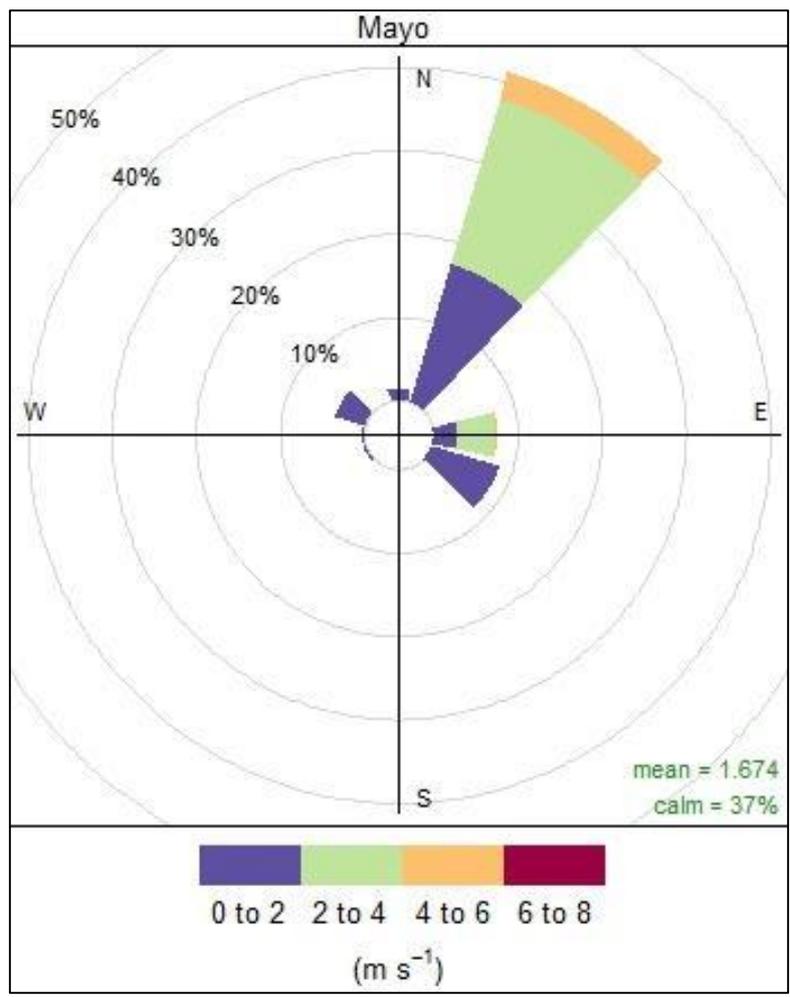
Variable	Tendencia	Marzo	Abril	Mayo
Precipitación	Promedio	1,65 mm	1,74 mm	2,3 mm
	Error Estándar	0,1	0,14	0,45
Temperatura	Promedio	18,62 °C	18,32 °C	18,74 °C
	Error Estándar	0,16	0,07	0,13
Velocidad del Viento	Promedio	1,37 m/s	1,81 m/s	1,62 m/s
	Error Estándar	0,04	0,03	0,06



Anexo 16. Rosa de los vientos de marzo de 2024



Anexo 17. Rosa de los vientos de abril de 2024



Anexo 18. Rosa de los vientos de mayo de 2024

Anexo 19. Inventario de tráfico vehicular en los tres sectores desde las 08H00 a 09H00 del año 2024

Muestra	Tipo	Sector	Contabilización	Fecha
1	Livianos	Terminal Terrestre	578	18/3/2024
	Livianos	Bomba Quemada	345	20/3/2024
	Livianos	Zamora Huayco	162	22/3/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	47	18/3/2024
	Pesados	Bomba Quemada	22	20/3/2024
	Pesados	Zamora Huayco	2	22/3/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	18/3/2024
	Especiales	Bomba Quemada	2	20/3/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	22/3/2024
2	Livianos	Terminal Terrestre	578	18/3/2024
	Livianos	Bomba Quemada	345	20/3/2024
	Livianos	Zamora Huayco	162	22/3/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	47	18/3/2024
	Pesados	Bomba Quemada	22	20/3/2024
	Pesados	Zamora Huayco	2	22/3/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	18/3/2024
	Especiales	Bomba Quemada	2	20/3/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	22/3/2024
3	Livianos	Terminal Terrestre	457	3/4/2024
	Livianos	Bomba Quemada	309	5/4/2024
	Livianos	Zamora Huayco	182	1/4/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	49	3/4/2024
	Pesados	Bomba Quemada	26	5/4/2024
	Pesados	Zamora Huayco	3	1/4/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	1	3/4/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	5/4/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	1/4/2024
4	Livianos	Terminal Terrestre	457	3/4/2024
	Livianos	Bomba Quemada	309	5/4/2024
	Livianos	Zamora Huayco	182	1/4/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	49	3/4/2024
	Pesados	Bomba Quemada	26	5/4/2024
	Pesados	Zamora Huayco	3	1/4/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	1	3/4/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	5/4/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	1/4/2024
5	Livianos	Terminal Terrestre	457	3/4/2024
	Livianos	Bomba Quemada	309	5/4/2024
	Livianos	Zamora Huayco	182	1/4/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	49	3/4/2024

	Pesados	Bomba Quemada	26	5/4/2024
	Pesados	Zamora Huayco	3	1/4/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	1	3/4/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	5/4/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	1/4/2024
	Livianos	Terminal Terrestre	521	12/4/2024
	Livianos	Bomba Quemada	331	10/4/2024
	Livianos	Zamora Huayco	109	8/4/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	40	12/4/2024
6	Pesados	Bomba Quemada	23	10/4/2024
	Pesados	Zamora Huayco	4	8/4/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	12/4/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	10/4/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	8/4/2024
	Livianos	Terminal Terrestre	469	15/4/2024
	Livianos	Bomba Quemada	212	19/4/2024
	Livianos	Zamora Huayco	147	17/4/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	42	15/4/2024
7	Pesados	Bomba Quemada	16	19/4/2024
	Pesados	Zamora Huayco	5	17/4/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	15/4/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	19/4/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	17/4/2024
	Livianos	Terminal Terrestre	456	24/4/2024
	Livianos	Bomba Quemada	309	23/4/2024
	Livianos	Zamora Huayco	83	26/4/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	38	24/4/2024
8	Pesados	Bomba Quemada	19	23/4/2024
	Pesados	Zamora Huayco	4	26/4/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	24/4/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	23/4/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	26/4/2024
	Livianos	Terminal Terrestre	284	3/5/2024
	Livianos	Bomba Quemada	310	2/5/2024
	Livianos	Zamora Huayco	109	1/5/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	17	3/5/2024
9	Pesados	Bomba Quemada	15	2/5/2024
	Pesados	Zamora Huayco	6	1/5/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	3/5/2024
	Especiales	Bomba Quemada	1	2/5/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	1/5/2024
	Livianos	Terminal Terrestre	466	8/5/2024
10	Livianos	Bomba Quemada	342	6/5/2024

Livianos	Zamora Huayco	149	10/5/2024
Pesados	Terminal Terrestre	52	8/5/2024
Pesados	Bomba Quemada	23	6/5/2024
Pesados	Zamora Huayco	4	10/5/2024
Especiales	Terminal Terrestre	0	8/5/2024
Especiales	Bomba Quemada	0	6/5/2024
Especiales	Zamora Huayco	0	10/5/2024

Anexo 20. Inventario de tráfico vehicular en los tres sectores desde las 12H00 a 13H00 del año 2024

Muestra	Tipo	Sector	Contabilización	Fecha
1	Livianos	Terminal Terrestre	485	18/3/2024
	Livianos	Bomba Quemada	273	20/3/2024
	Livianos	Zamora Huayco	82	22/3/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	39	18/3/2024
	Pesados	Bomba Quemada	23	20/3/2024
	Pesados	Zamora Huayco	4	22/3/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	18/3/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	20/3/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	22/3/2024
2	Livianos	Terminal Terrestre	485	18/3/2024
	Livianos	Bomba Quemada	273	20/3/2024
	Livianos	Zamora Huayco	82	22/3/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	39	18/3/2024
	Pesados	Bomba Quemada	23	20/3/2024
	Pesados	Zamora Huayco	4	22/3/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	18/3/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	20/3/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	22/3/2024
3	Livianos	Terminal Terrestre	485	3/4/2024
	Livianos	Bomba Quemada	262	5/4/2024
	Livianos	Zamora Huayco	133	1/4/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	44	3/4/2024
	Pesados	Bomba Quemada	30	5/4/2024
	Pesados	Zamora Huayco	10	1/4/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	3/4/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	5/4/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	1/4/2024
4	Livianos	Terminal Terrestre	485	3/4/2024
	Livianos	Bomba Quemada	262	5/4/2024
	Livianos	Zamora Huayco	133	1/4/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	44	3/4/2024
	Pesados	Bomba Quemada	30	5/4/2024
	Pesados	Zamora Huayco	10	1/4/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	3/4/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	5/4/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	1/4/2024
5	Livianos	Terminal Terrestre	485	3/4/2024
	Livianos	Bomba Quemada	262	5/4/2024
	Livianos	Zamora Huayco	133	1/4/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	44	3/4/2024

	Pesados	Bomba Quemada	30	5/4/2024
	Pesados	Zamora Huayco	10	1/4/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	3/4/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	5/4/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	1/4/2024
	Livianos	Terminal Terrestre	495	12/4/2024
	Livianos	Bomba Quemada	240	10/4/2024
	Livianos	Zamora Huayco	76	8/4/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	45	12/4/2024
6	Pesados	Bomba Quemada	23	10/4/2024
	Pesados	Zamora Huayco	9	8/4/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	12/4/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	10/4/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	8/4/2024
	Livianos	Terminal Terrestre	449	15/4/2024
	Livianos	Bomba Quemada	286	19/4/2024
	Livianos	Zamora Huayco	57	17/4/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	48	15/4/2024
7	Pesados	Bomba Quemada	17	19/4/2024
	Pesados	Zamora Huayco	6	17/4/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	15/4/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	19/4/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	17/4/2024
	Livianos	Terminal Terrestre	429	24/4/2024
	Livianos	Bomba Quemada	287	23/4/2024
	Livianos	Zamora Huayco	86	26/4/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	39	24/4/2024
8	Pesados	Bomba Quemada	19	23/4/2024
	Pesados	Zamora Huayco	9	26/4/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	24/4/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	23/4/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	26/4/2024
	Livianos	Terminal Terrestre	289	3/5/2024
	Livianos	Bomba Quemada	296	2/5/2024
	Livianos	Zamora Huayco	98	1/5/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	14	3/5/2024
9	Pesados	Bomba Quemada	14	2/5/2024
	Pesados	Zamora Huayco	5	1/5/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	3/5/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	2/5/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	1/5/2024
	Livianos	Terminal Terrestre	440	8/5/2024
10	Livianos	Bomba Quemada	310	6/5/2024

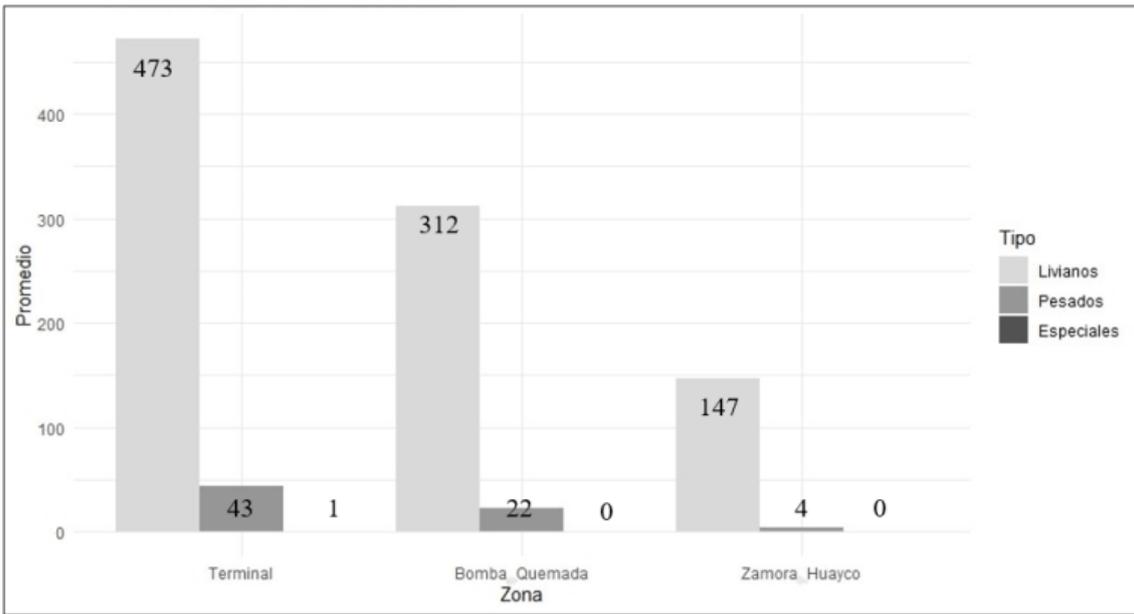
Livianos	Zamora Huayco	60	10/5/2024
Pesados	Terminal Terrestre	44	8/5/2024
Pesados	Bomba Quemada	19	6/5/2024
Pesados	Zamora Huayco	5	10/5/2024
Especiales	Terminal Terrestre	0	8/5/2024
Especiales	Bomba Quemada	0	6/5/2024
Especiales	Zamora Huayco	0	10/5/2024

Anexo 21. Inventario de tráfico vehicular en los tres sectores desde las 18H00 a 19H00 del año 2024

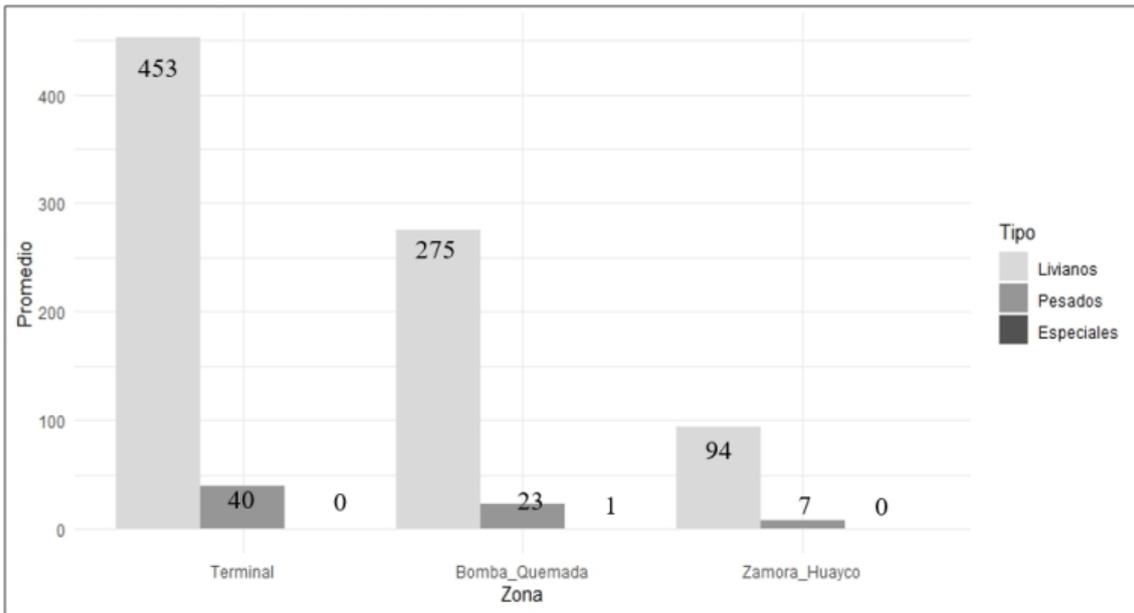
Muestra	Tipo	Sector	Contabilización	Fecha
1	Livianos	Terminal Terrestre	512	18/3/2024
	Livianos	Bomba Quemada	351	20/3/2024
	Livianos	Zamora Huayco	111	22/3/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	35	18/3/2024
	Pesados	Bomba Quemada	28	20/3/2024
	Pesados	Zamora Huayco	2	22/3/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	18/3/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	20/3/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	22/3/2024
2	Livianos	Terminal Terrestre	512	18/3/2024
	Livianos	Bomba Quemada	351	20/3/2024
	Livianos	Zamora Huayco	111	22/3/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	35	18/3/2024
	Pesados	Bomba Quemada	28	20/3/2024
	Pesados	Zamora Huayco	2	22/3/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	18/3/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	20/3/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	22/3/2024
3	Livianos	Terminal Terrestre	504	3/4/2024
	Livianos	Bomba Quemada	349	5/4/2024
	Livianos	Zamora Huayco	113	1/4/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	37	3/4/2024
	Pesados	Bomba Quemada	17	5/4/2024
	Pesados	Zamora Huayco	10	1/4/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	3/4/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	5/4/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	1/4/2024
4	Livianos	Terminal Terrestre	504	3/4/2024
	Livianos	Bomba Quemada	349	5/4/2024
	Livianos	Zamora Huayco	113	1/4/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	37	3/4/2024
	Pesados	Bomba Quemada	17	5/4/2024
	Pesados	Zamora Huayco	10	1/4/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	3/4/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	5/4/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	1/4/2024
5	Livianos	Terminal Terrestre	504	3/4/2024
	Livianos	Bomba Quemada	349	5/4/2024
	Livianos	Zamora Huayco	113	1/4/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	37	3/4/2024

	Pesados	Bomba Quemada	17	5/4/2024
	Pesados	Zamora Huayco	10	1/4/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	3/4/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	5/4/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	1/4/2024
6	Livianos	Terminal Terrestre	461	12/4/2024
	Livianos	Bomba Quemada	298	10/4/2024
	Livianos	Zamora Huayco	128	8/4/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	29	12/4/2024
	Pesados	Bomba Quemada	28	10/4/2024
	Pesados	Zamora Huayco	7	8/4/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	12/4/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	10/4/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	8/4/2024
7	Livianos	Terminal Terrestre	441	15/4/2024
	Livianos	Bomba Quemada	327	19/4/2024
	Livianos	Zamora Huayco	90	17/4/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	44	15/4/2024
	Pesados	Bomba Quemada	18	19/4/2024
	Pesados	Zamora Huayco	4	17/4/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	15/4/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	19/4/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	17/4/2024
8	Livianos	Terminal Terrestre	447	24/4/2024
	Livianos	Bomba Quemada	344	23/4/2024
	Livianos	Zamora Huayco	89	26/4/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	35	24/4/2024
	Pesados	Bomba Quemada	18	23/4/2024
	Pesados	Zamora Huayco	5	26/4/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	24/4/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	23/4/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	26/4/2024
9	Livianos	Terminal Terrestre	245	3/5/2024
	Livianos	Bomba Quemada	343	2/5/2024
	Livianos	Zamora Huayco	121	1/5/2024
	Pesados	Terminal Terrestre	16	3/5/2024
	Pesados	Bomba Quemada	21	2/5/2024
	Pesados	Zamora Huayco	2	1/5/2024
	Especiales	Terminal Terrestre	0	3/5/2024
	Especiales	Bomba Quemada	0	2/5/2024
	Especiales	Zamora Huayco	0	1/5/2024
10	Livianos	Terminal Terrestre	452	8/5/2024
	Livianos	Bomba Quemada	329	6/5/2024

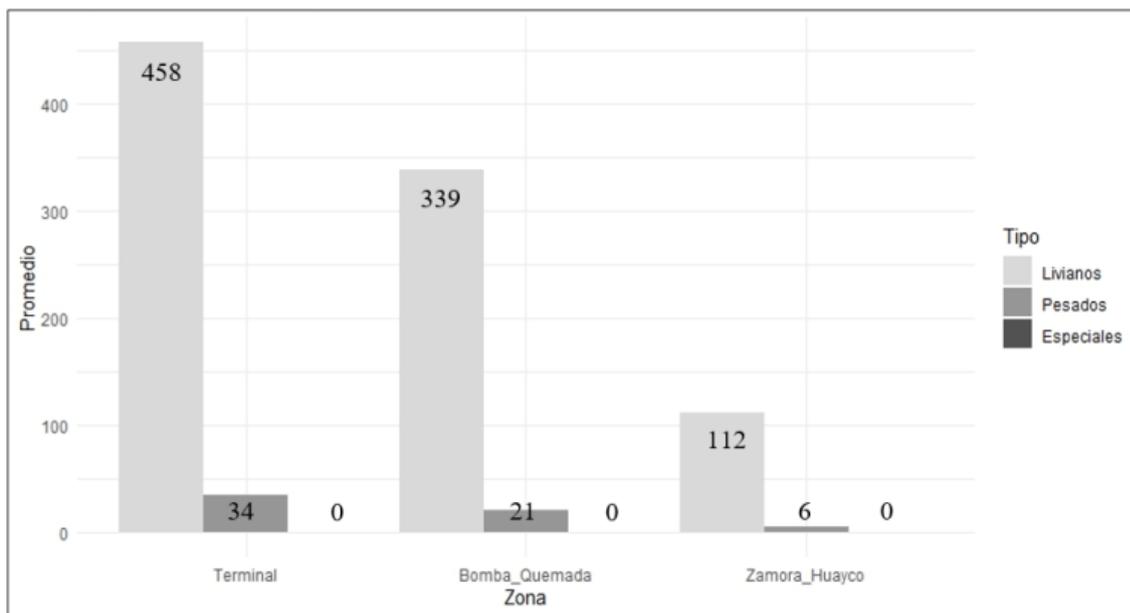
Livianos	Zamora Huayco	128	10/5/2024
Pesados	Terminal Terrestre	39	8/5/2024
Pesados	Bomba Quemada	15	6/5/2024
Pesados	Zamora Huayco	4	10/5/2024
Especiales	Terminal Terrestre	0	8/5/2024
Especiales	Bomba Quemada	0	6/5/2024
Especiales	Zamora Huayco	0	10/5/2024



Anexo 22. Promedio del tráfico vehicular en los tres sectores de 08H00 a 09H00



Anexo 23. Promedio del tráfico vehicular en los tres sectores de 12H00 a 13H00



Anexo 24. Promedio del tráfico vehicular en los tres sectores de 12H00 a 13H00

Anexo 25. Concentración de nitratos en el agua de lluvia de los tres sectores

Número de Muestra	Terminal Terrestre	Bomba Quemada	Zamora Huayco
1	0,00	0,00	0,00
2	1,00	1,00	1,30
3	1,20	0,70	1,50
4	4,40	7,10	8,80
5	0,50	1,40	2,10
6	0,60	0,70	0,90
7	0,80	1,40	0,70
8	1,00	0,90	0,70
9	3,00	5,50	1,50
10	0,70	0,90	0,80

Anexo 26. Concentración de sulfatos en el agua de lluvia de los tres sectores

Número de Muestra	Terminal Terrestre	Bomba Quemada	Zamora Huayco
1	2,00	0,00	2,00
2	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00
4	1,00	0,00	0,00
5	0,00	1,00	2,00
6	0,00	0,00	0,00
7	0,00	1,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00
9	53,00	71,00	12,00
10	0,00	0,00	0,00

Anexo 27. Nivel de pH de los tres sectores de la ciudad de Loja

Número de Muestra	Terminal Terrestre	Bomba Quemada	Zamora Huayco
1	7,20	7,59	7,40
2	7,11	7,07	6,77
3	7,16	7,55	7,37
4	7,26	7,21	7,80
5	7,44	6,84	7,66
6	7,53	7,53	7,41
7	7,41	7,34	7,08
8	7,10	6,88	6,61
9	7,39	7,32	7,36
10	6,98	7,19	7,15

Anexo 28. Conductividad de los tres sectores de la ciudad de Loja

Número de Muestras	Terminal Terrestre	Bomba Quemada	Zamora Huayco
1	398,50	68,25	115,60
2	8,28	4,48	3,58
3	7,11	11,33	7,20
4	11,02	4,90	13,07
5	9,44	4,33	6,52
6	18,57	12,51	12,45
7	25,97	27,84	18,77
8	6,83	4,82	4,15
9	23,53	44,23	17,89
10	19,71	22,91	16,35