



INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES
LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO



Instituto de Altos Estudios Nacionales
Escuela de Seguridad y Defensa

Implementación de un sistema de alerta temprana hidrometeorológico para reducir los accidentes de tránsito en la ciudad de Quito – Ecuador

Trabajo de titulación – Opción: Artículo presentado para obtener el grado académico de Magister en:
Prevención y Gestión de Riesgos de Desastres.

Autor: Carlos Julio Fajardo Rodríguez (carlosfajardo25@hotmail.es)
Tutor: Dr. Klever Daniel Pontón Cevallos PhD (Daniel.ponton@iaen.edu.ec)

Quito – 2025





Derechos de autor.

Yo, **FAJARDO RODRÍGUEZ CARLOS JULIO**, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente:

Ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA HIDROMETEOROLÓGICO PARA REDUCIR LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE QUITO – ECUADOR**; también declaro que la presente investigación no vulnera derechos de terceros ni utiliza fraudulentamente obras preexistentes. Además, ratifico que las ideas, criterios, opiniones, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad. Eximo expresamente al Instituto de Altos Estudios Nacionales y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones judiciales o administrativas, en relación con la propiedad intelectual de este trabajo.

Que la presente obra, producto de mi investigación, forma parte del patrimonio de la Universidad de Posgrado del Estado, Instituto de Altos Estudios Nacionales, de conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación:

“De los titulares de derechos de obras creadas en las instituciones de educación superior y centros educativos.- En el caso de las obras creadas en centros educativos, universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y los conservatorios superiores, e institutos públicos de investigación como resultado de su actividad académica o de investigación tales como trabajos de titulación, proyectos de investigación o innovación, artículos académicos, u otros análogos, sin perjuicio de que pueda existir relación de dependencia, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores. Sin embargo, el establecimiento tendrá una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra con fines académicos.”

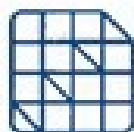
Asimismo, autorizo al Instituto de Altos Estudios Nacionales para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional en formato digital tal como lo establece el documento y de conformidad a lo dispuesto en el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior:

“Trabajos de Titulación en formato digital. - Todas las instituciones de educación superior estarán obligadas a entregar los trabajos de titulación que se elaboren para la obtención de títulos académicos de grado y posgrado en formato digital para ser integradas al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.”

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Carlos Julio Fajardo Rodríguez

1707309546



No. 270-2025

ACTA DE GRADO

En el Distrito Metropolitano de Quito, hoy 4 de septiembre de 2025, CARLOS JULIO FAJARDO RODRIGUEZ, portador del número de cédula: 1707309546, EGRESADO DE LA MAESTRÍA EN PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS 2024 - 2025 junio-julio, se presentó a la exposición y defensa oral de su ARTÍCULO CIENTÍFICO DE ALTO NIVEL, con el tema: "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA HIDROMETEOROLÓGICO PARA REDUCIR LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE QUITO - ECUADOR", dando así cumplimiento al requisito, previo a la obtención del título de MAGÍSTER EN PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS.

Habiendo obtenido las siguientes notas:

Promedio Académico:	9.50
Trabajo Escrito:	9.75
Defensa Oral:	10.00
Nota Final Promedio:	9.68

En consecuencia, CARLOS JULIO FAJARDO RODRIGUEZ, se ha hecho acreedor al título mencionado.

Para constancia firman:

Kleber Daniel Ponton Cevallos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Elena Gabriela Chicalta Mora
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Carla Morena Álvarez Velasco
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Mgs. Estefanía Yadira Morillo Erazo
DIRECTORA DE SECRETARÍA GENERAL



Tema:

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA
HIDROMETEOROLÓGICO PARA REDUCIR LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO
EN LA CIUDAD DE QUITO – ECUADOR.**

Resumen:

Quito, es una de las capitales de América del Sur con un alto índice de accidentes de tránsito. Se utilizaron bases de datos sobre accidentes de tránsito y clima de seis estaciones meteorológicas, en la ciudad de Quito, periodo 2019-2023 y otros disponibles. Los resultados demostraron una relación adecuada de estacionalidad y dependencia entre las variables clima y accidentes de tránsito, utilizando métodos estadísticos: cálculo del índice de correlación y coeficiente de determinación, lo que sugiere una buena capacidad predictiva que podría incluir más variables, se incluyó la transcripción de entrevistas técnicas. Se desarrolló una propuesta para la implementación de un sistema de alerta temprana hidrometeorológico (SAT-HM), en la ciudad de Quito. Este enfoque permitirá un sistema proactivo que no solo reacciona ante los accidentes, sino que también prevé y minimiza el riesgo de que estos ocurran, a través de un monitoreo constante, predicción de eventos y una respuesta eficaz.

Palabras Clave: Alerta; Temprana; Accidentes; Clima; Transito.

Abstract

Quito is one of the capitals of South America with a high rate of traffic accidents. Databases on traffic accidents and climate from six meteorological stations were used, in the city of Quito, period 2019-2023 and others available. The results demonstrated an adequate relationship of seasonality and dependence between the weather variables and traffic accidents, using statistical methods: calculation of the correlation index and coefficient of determination, which suggests a good predictive capacity that could include more variables, the transcription of technical interviews was included. A proposal was developed for the implementation of a hydrometeorological early warning system (SAT-HM) in the city of Quito. This approach will enable a proactive system that not only reacts to accidents, but also anticipates and minimizes the risk of them occurring, through constant monitoring, event prediction and effective response.

Keywords: Alert; Early; Accidents; Climate; Transit.



Dedicatoria.

A Dios, por ser la guía y fortaleza en cada paso de mi vida.

A mi esposa, por su amor incondicional, comprensión y apoyo constante.

A mis hijos, Natalia, Michael y Alisson, fuente de inspiración y motivo de superación diaria.

A mi familia, por su respaldo y confianza en este camino académico.

Al Dr. Daniel Pontón, PhD., tutor de esta investigación, por su orientación y valiosas enseñanzas.

A los docentes de la universidad, quienes con su conocimiento y dedicación han contribuido de manera significativa a mi formación profesional.

Agradecimiento.

Expreso mi sincero agradecimiento a las instituciones que, a través de la información publicada en sus páginas oficiales, aportaron de manera fundamental a la presente investigación: Agencia Metropolitana de Tránsito (AMT), Agencia Nacional de Tránsito (ANT), Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), y el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

De igual manera, agradezco al Dr. Franco Basso, PhD., investigador y académico de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, por sus valiosos aportes y reflexiones. Extiendo mi gratitud a los funcionarios y autoridades del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, quienes contribuyeron con información y criterios relevantes para el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, mi reconocimiento a los docentes de la universidad, por su incondicional apoyo y por haber sido una guía constante en mi proceso de formación académica y profesional.



1. INTRODUCCIÓN

Los accidentes de tránsito constituyen una de las principales causas de muertes y lesiones graves en Ecuador y el mundo. Según el Banco Mundial, la tasa de mortalidad en accidentes de tránsito en Ecuador es de 20 decesos por cada 100.000 habitantes, siendo la quinta tasa más alta de mortalidad en percances viales de América del Sur (Primicias, 2024). La ciudad de Quito, se constituye en una de las principales capitales de América del Sur que registra un alto de índice de accidentes de tránsito (56 muertes por cada 1'000,000 de habitantes). En el Ecuador la discapacidad del 23,9% de los ciudadanos ha sido ocasionada por accidentes de tránsito. Se estima que los costos anuales por concepto de trabajo perdido y gastos sociales sobrepasan los 500.000 millones de dólares en todo el mundo (Alvear Rogge, Adolfo, 1996, pág. 97).

El objetivo general de esta investigación es desarrollar una propuesta para la implementación de un Sistema de Alerta Temprana Hidrometeorológico (SAT-HM) con el fin de reducir los accidentes de tránsito en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, Ecuador.

Para el cumplimiento del mismo, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Realizar el procesamiento y depuramiento de la información existente respecto a la ocurrencia de accidentes de tránsito y factores relacionados con el clima de los cinco últimos años (2019-2023), en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha – Ecuador.
- Comprobar la relación existente entre las variables accidentes de tránsito y clima que inciden en la ocurrencia de los accidentes de tránsito en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha – Ecuador.
- Establecer un sistema de alerta temprana hidrometeorológico para la reducción de los accidentes de tránsito en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha – Ecuador.

La pregunta de investigación, se refiere a sí: *“la implementación de un Sistema de alerta temprana hidrometeorológico (SAT-HM), ¿podría reducir los accidentes de tránsito de los cinco últimos años, en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha - Ecuador?”*.

En base a todo lo anteriormente mencionado la investigación es viable en recursos y tiempo, hay la disponibilidad de la información en portales institucionales con relación a la obtención de datos históricos de la variable dependiente accidentes de tránsito en los cinco últimos años (2019-2023) en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha y a nivel nacional; y, datos relacionados con la variable independiente clima, en varios sectores de la ciudad de Quito, por



lo que, se procedió a investigar la relación que existe entre ambas variables, enfatizando como la implementación de un Sistema de Alerta Temprana Hidrometeorológico, con las capacidades actualmente existentes, podría reducir la ocurrencia de los accidentes de tránsito en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, Ecuador.

2. MARCO TEÓRICO

Los sistemas de alerta temprana hidrometeorológica están diseñados principalmente para prevenir y mitigar los efectos de eventos climáticos extremos, como inundaciones y tormentas; sin embargo, también pueden jugar un papel crucial en la prevención de accidentes de tránsito, esto se logra mediante la integración de información meteorológica en tiempo real que puede alertar a los conductores sobre condiciones peligrosas, como lluvia intensa, niebla o hielo en las carreteras, estos pueden incluir avisos sobre condiciones climáticas extremas que afectan la seguridad vial, permitiendo a las autoridades y a los conductores tomar decisiones informadas para evitar situaciones de riesgo.

El informe de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2010), titulado *“La seguridad vial en la región de América Latina y el Caribe. Situación actual y desafíos”*, estableció que la seguridad vial debe ser un tema transversal, y debe ser coordinada desde las autoridades de transporte, de planificación, judiciales, policiales, asistencia médica de urgencia, de educación y sobre todo de la ciudadanía ya sean estos conductores, pasajeros u peatones.

El *“Plan mundial para el decenio de acción para la seguridad vial 2021-2030”*, (OMS, 2021) entre sus estrategias, pretende reducir a nivel mundial en por lo menos un 50% las muertes y traumatismo producidos por accidentes de tránsito, en dicho plan se describen las medidas necesarias para alcanzar esa meta, y se hace un llamamiento a los gobiernos y asociados para aplicar un enfoque de sistemas seguros integrados, haciendo énfasis al transporte multimodal, infraestructura vial segura, vehículos seguros, uso seguro de las vías de tránsito y respuesta después de los accidentes.

El factor climático está presente cuando las condiciones climáticas adversas son tan importantes que determinan un accidente de tránsito; por lo que, es un factor a considerar cuando se conduce un vehículo. Los accidentes aumentan considerablemente los días en los que este factor toma protagonismo, ya sea por culpa de la lluvia, el viento, la neblina. (Cabrera Prieto, 2012).



Esta información guarda relación con lo expuesto en el artículo de investigación *“Determinación del índice de accidentes de tránsito, en función de las variables tiempo, clima y transporte, eje vial E-28 B, Provincia de pichincha, Ecuador”* (Flores Méndez, C. A., Mora Flores, P. A., & Fajardo Rodríguez, C. J. , 2022), en la que, en base a la curva de distribución de la precipitación media mensual y precipitación máxima 24 horas, obtenidos de estaciones meteorológicas representativos del sector de estudio, se determinó la incidencia existente entre el factor clima y la ocurrencia de siniestros por accidentes de tránsito, se estableció que los meses de mayor presencia de siniestralidad se registraron en las dos temporadas húmedas, que corresponde a los meses de marzo, abril, noviembre (los de mayor incidencia) y, octubre, diciembre (con menor impacto) y en lo que respecta a la época seca, los meses de mayor siniestralidad son junio y agosto, corresponden a los meses de transición mayormente secos, pero con registro de precipitaciones constantes las 24 horas del día.

En el mismo documento se determinó un índice de accidentabilidad en los siniestros de tránsito, cuya incidencia es directamente proporcional a la inadecuada seguridad vial y en lo que respecta a la precipitación, esta influyó en la cantidad de lluvia al momento del siniestro y a la precipitación de las 24 horas anteriores al accidente (por las condiciones propias de la vía después del evento). Adicional, mencionó que la mayor ocurrencia se incrementó cuando la visibilidad fue inferior a las 20 m, justamente, cuando esta estuvo en rangos inferiores a los 5 metros, dio como resultados accidentes fatales (muerte).

A continuación, se procedió a revisar varias experiencias en la implementación de sistemas de alerta temprana a nivel nacional e internacional, por lo que, se utilizó como referencia las siguientes investigaciones:

En el trabajo de titulación denominado *“Implementación de un sistema de alerta para la prevención de accidentes mediante reconocimiento de señales de tránsito y visión artificial”* (Cain Guambo, 2021), el autor planteó desarrollar un sistema de tecnologías de visión artificial para identificar y reconocer señales de tránsito, para la ciudad de Riobamba-Ecuador, empleó una metodología que combinó técnicas de visión artificial y reconocimiento de señales de tránsito, mediante el desarrollo de algoritmos de visión artificial, integración de sensores, emitió alertas basadas en la información procesada, lo que puede aportar a prevenir accidentes, al informar a los conductores sobre señales de tránsito relevantes y condiciones de la carretera.

En ese mismo ámbito, la publicación *“Diseño e implementación de un dispositivo de alerta temprana utilizando un sistema de comunicaciones inalámbrica y móvil para prever accidentes*



de tránsito”, (Guaranga Broncano, Edwin Xavier, 2020), utilizó tecnologías de comunicación inalámbrica y móvil para alertar sobre posibles accidentes de tránsito en la ciudad de Ambato, Ecuador, se realizaron pruebas en condiciones reales, lo que permitió validar el funcionamiento del dispositivo, para mejorar la seguridad vial al proporcionar información crítica a los conductores antes de que se produzcan accidentes.

El Artículo "Real-time crash prediction in an urban expressway using disaggregated data" de (Basso et al., 2018), aborda la importancia de los sistemas de alerta temprana en el contexto de la predicción de accidentes de tránsito en un tramo de la Autopista Central de Chile y carreteras urbanas. Los autores desarrollaron modelos de predicción de accidentes utilizando datos desagregados, lo que permitió una identificación más precisa de las condiciones que pueden llevar a un accidente.

Además, el uso de modelos como la regresión logística y máquinas de soporte vectorial (SVM) en el estudio demostró cómo los datos desagregados pueden mejorar la precisión de las predicciones, lo que es esencial para el funcionamiento eficaz de un sistema de alerta temprana en entornos urbanos. Esto resaltó la relevancia de contar con tecnologías avanzadas y datos precisos para la implementación de estos sistemas en la infraestructura vial.

Becker, A., Rust, H., & Ulbrich, U. (2022), en su artículo: “Weather impacts on various types of road crashes: a quantitative analysis using generalized additive models”, analizó cómo las condiciones climáticas adversas afectan diferentes tipos de accidentes de tráfico en Alemania; utilizando modelos aditivos generalizados, se cuantificaron los efectos combinados del volumen de tráfico y los parámetros meteorológicos en las probabilidades horarias de 78 tipos diferentes de accidentes. Entre los factores climáticos analizados, se destacaron factores como la lluvia, la nieve y la visibilidad reducida, lo que resaltó la importancia de considerar las condiciones meteorológicas específicas al evaluar el riesgo de accidentes en la carretera.

Los modelos desarrollados en el estudio mostraron una mejora significativa en la capacidad predictiva al incluir variables meteorológicas, la inclusión de estas variables puede mejorar las puntuaciones de predicción en hasta un 24%, lo que sugiere que estos modelos son adecuados para aplicaciones en la gestión del tráfico en tiempo real y sistemas de advertencia basados en el impacto. Esto implica que una mejor comprensión de la relación entre el clima y el tránsito puede contribuir a la reducción de accidentes y a la mejora de la seguridad vial en general.



3. METODOLOGÍA.

El presente artículo se basó en un enfoque mixto: cuantitativo y cualitativo.

Según (Sampieri, 2014, p.4) en el enfoque cuantitativo se *“establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis”*. En este sentido optamos por la aplicación de este enfoque con el propósito de probar y establecer conclusiones con respecto a la pregunta de investigación planteada mediante la recolección y el análisis de datos, aplicando procedimientos estadísticos estandarizados los cuales están respaldados por una comunidad científica.

Al respecto, se obtuvo información estadística sobre accidentes de tránsito en el país en la Agencia Metropolitana de Tránsito AMT, - Agencia Nacional de Tránsito - ANT, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - INEC, en las que se reflejaron cifras categorizadas por años referentes a tipos de siniestro, causas de siniestros y causa de fallecimientos ocurridos por accidentes de tránsito en el país y en el sector que corresponde a la presente investigación.

Esto se complementó con el análisis y procesamiento de bases de datos climáticos en varios periodos de tiempo disponibles, de los parámetros de precipitación, temperatura, humedad relativa, nubosidad, velocidad del viento, obtenido de diversas instituciones generadoras de información meteorológica, en portales especializados como Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito - EMAPS, portal WHEATHER AND CLIMATE y otras instituciones que guardan relación con el clima de la ciudad de Quito, que afectan principalmente al objeto de estudio.

Posterior, se correlacionaron los datos de las variables independiente: clima y dependiente: accidentes de tránsito, conforme a lo que se estableció en el siguiente cuadro:

Tabla 1
Operacionalización de la pregunta de investigación.

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente:	Datos de los parámetros climáticos	Precipitación.	Cantidad media mensual de precipitación en mm.



Clima	que influyen o no en la ocurrencia de accidentes de tránsito en la ciudad de Quito, se utilizarán las medias mensuales en el periodo 2019-2023, de seis estaciones meteorológicas ubicadas en varios sectores de la ciudad de Quito, para determinar cuál ha sido la evolución del clima y como está incide en la vía de estudio.	Temperatura.	Valor medio mensual de temperatura en °C.
		Humedad relativa.	Valor medio mensual de humedad relativa en %.
		Nubosidad.	Valor medio mensual de nubosidad en octavos u "octas" de cielo cubierto: así, por ejemplo, si las nubes cubren la mitad del cielo se dice que la nubosidad es de 4 octas.
		Viento.	Valor medio mensual velocidad de viento en m/s.
Variable dependiente: Accidentes de tránsito	Datos relacionados a los accidentes de tránsito en el periodo 2019-2023 y las causas que determinan esta siniestralidad, principalmente las que tienen relación con el clima.	Factor clima.	# de accidentes de tránsito cuya causa directa es el factor clima.
		Factores culturales.	# de accidentes de tránsito en la que inciden factores relacionados con la cultura vial: hábitos, conductas del conductor en la vía pública.
		Factores psicosociales.	# de accidentes de tránsito en la que inciden factores psicosociales que afectan la salud física y psicológica del conductor en la vía pública.
Variable mediadora: Estacionalidad temporada seca y húmeda	Datos de los parámetros climáticos que influyen en la ocurrencia de las temporadas húmedas y seca en la ciudad de Quito, se utilizarán las medias mensuales en 4 estaciones meteorológicas, en diversos periodos de tiempo disponibles.	Precipitación.	Cantidad media mensual en mm de precipitación de cuatro estaciones meteorológicas en un periodo comprendido entre 33 a 91 años.
		Temperatura.	Valor medio mensual en °C obtenido en cuatro estaciones meteorológicas en un periodo comprendido entre 29 a 33 años.



Humedad relativa.	Valor medio mensual en % obtenido en tres estaciones meteorológicas en un periodo comprendido de 29 años.
Nubosidad.	Valor medio mensual en octas de cielo cubierto, en una estación meteorológica en un periodo comprendido de 17 años.

Fuente: elaboración propia.

En el libro "Del algoritmo al sujeto", (Ibáñez, J., 2002) , la investigación cualitativa se define como un enfoque que busca comprender la realidad social a través de la interpretación de significados y experiencias humanas, implica una serie de estrategias que incluyen la observación participante, entrevistas en profundidad y análisis de contenido; además, el autor destaca que este enfoque no busca generalizar resultados, sino más bien ofrecer una comprensión detallada y matizada de los fenómenos estudiados.

Por lo expuesto, se interrelacionó la investigación mediante el enfoque cualitativo a través de datos no numéricos, entrevistas y reuniones con expertos, lo que nos permitió entender frecuencias, patrones y correlaciones, estableciendo relaciones de causa y efecto.

Finalmente, se planteó una propuesta técnica y el diseño esquemático de un sistema de alerta temprana en base a los patrones obtenidos en datos históricos de accidentes de tránsito, situación actual del clima, y otros parámetros que contribuirían a disminuir el índice de accidentes de tránsito provocados por factores meteorológicos y climáticos, conforme a las variables que fueron determinadas en esta investigación.

Por lo anteriormente mencionado, se planteó la siguiente hipótesis: *"La implementación de un Sistema de Alerta Temprana Hidrometeorológico (SAT-HM) en Quito reducirá significativamente el número de accidentes de tránsito en los próximos años, al proporcionar información oportuna sobre condiciones climáticas adversas y otros factores que afectan la seguridad vial"*.

Este enfoque integral y participativo buscará no solo mitigar la ocurrencia y prevención de accidentes de tránsito, sino también, salvar vidas y reducir el impacto de los accidentes de tránsito en la comunidad.



4. RESULTADOS.

4.1. RELACIÓN ACCIDENTES DE TRÁNSITO Y CLIMA.

Con el objeto de determinar la estacionalidad climática en la ciudad de Quito, se procedió a analizar los datos mensuales de precipitación, humedad relativa, nubosidad y temperatura de las estaciones meteorológicas de Tomalón (sector Tumbaco), Aeropuerto DAC (sector parque Bicentenario), Iñaquito (sector Iñaquito), Izobamba (sector Cutuglagua), de varios periodos de tiempo disponibles entre 29 a 91 años de información meteorológica.

Por lo expuesto, en los tres parámetros analizados: precipitación, humedad relativa y nubosidad, se pudo apreciar una tendencia homogénea y un comportamiento armónico complejo, determinándose dos temporadas húmedas y una temporada seca características de la región de análisis, con un desfase entre los meses de enero y febrero; donde se pudo apreciar que los valores más bajos de la curva correspondieron a la temporada seca. **(Anexo 1).**

En lo que respecta a la variable temperatura, se realizó el análisis serial de la temperatura media en los periodos disponibles de las estaciones meteorológicas de: Iñaquito, Tomalón, Izobamba y la estación meteorológica Aeropuerto de la Dirección de Aviación Civil (DAC), con los datos disponibles hasta el año 2023, al respecto, este parámetro mantuvo un intervalo bastante constante entre 3 a 5 grados centígrados, por lo que no se determinó mayor incidencia en las distribuciones anteriormente analizadas.

A continuación, se procedió a analizar la información estadística sobre accidentes de tránsito a nivel nacional, provincia de Pichincha y ciudad de Quito, en los últimos cinco años (periodo 2019-2023), reflejados en reportes y fichas técnicas nacionales de siniestralidad de tránsito desde el año 2019 al 2023, obtenidos de las bases de datos de la Agencia Nacional de Tránsito - ANT, Agencia Metropolitana de Tránsito - AMT, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - INEC, en las que se reflejaron cifras categorizadas por años referentes a tipos de siniestro, causas de siniestros y causas de fallecimientos ocurridos por diversas causas, enfocándonos principalmente en el factor climático **(Anexo 2).**

Con la información anteriormente mencionada, se procedió a establecer a nivel de estacionalidad, la relación existente entre las variables meteorológicas de: precipitación, humedad relativa, nubosidad, velocidad del viento, temperatura, en seis estaciones meteorológicas ubicadas en diversos sectores de la ciudad de Quito: Rumihurco (sector Condado), Aeropuerto DAC (Parque Bicentenario), Iñaquito (sector Iñaquito), Tomalón



(sector Tabacundo), El Troje (sector Solanda), Izobamba (sector Cutuglagua) con los accidentes de tránsito en el periodo de análisis 2019 - 2023. **(Anexo 3)**.

Se pudo demostrar la relación entre la precipitación mensual correspondiente a los 5 últimos años, frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al mismo periodo, se estableció que los meses de mayor presencia de siniestralidad se registraron en las dos temporadas húmedas, que corresponde a los meses de marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre (los de mayor incidencia), enero y septiembre (con menor impacto) y en lo que respecta a la época seca, los meses de mayor siniestralidad tienen presencia en los meses de junio y agosto, conforme a la ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas analizadas.

En lo que respecta a la humedad relativa media mensual en el periodo de análisis, en 5 estaciones meteorológicas, a excepción de DAC Aeropuerto, fue posible establecer la relación existente con la ocurrencia de siniestros por accidentes de tránsito, siendo los meses de mayor presencia de siniestralidad en las dos temporadas húmedas, y en lo que respecta a la época seca, los meses de mayor siniestralidad son junio, julio y agosto.

Con relación al factor nubosidad y la ocurrencia de siniestros por accidentes de tránsito, este análisis se realizó únicamente en la estación de Izobamba, se determinó que los meses de mayor presencia de siniestralidad se registraron en las dos temporadas húmedas, y en lo que respecta a la época seca, los meses de mayor siniestralidad son junio y agosto.

En cuanto se refiere a las otras variables meteorológicas, con relación a la temperatura media mensual, frente al número de accidentes de tránsito correspondiente fue posible establecer que las medias de temperatura mensuales no tienen mayor relación a la ocurrencia de siniestros por accidentes de tránsito, los intervalos de temperatura en las seis estaciones meteorológicas fluctuaron entre 1 a 2 °C, por lo que, esta variable no tiene incidencia.

En relación a la variable meteorológica velocidad del viento frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al periodo 2019 – 2023, el análisis se realizó únicamente en la estación Rumihurco, periodo 2020 – 2021, se pudo visualizar también que, esta variable no tiene mayor incidencia con relación a los accidentes de tránsito.

Por lo expuesto anteriormente, se pudo determinar la relación de estacionalidad entre el factor clima, parámetros: precipitación, humedad relativa, nubosidad, los que presentan una dependencia directamente proporcional a la ocurrencia de siniestros por accidentes de tránsito; se pudo establecer también, que, los meses de mayor presencia de siniestralidad, se registraron



mayormente en las dos temporadas húmedas, y en ciertos meses de la temporada seca, conforme a la ubicación de las estaciones meteorológicas analizadas.

4.2. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CORRELACIÓN Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN ENTRE VARIABLE INDEPENDIENTE: CLIMA Y VARIABLE DEPENDIENTE: ACCIDENTES DE TRÁNSITO.

Al comprobarse la relación de estacionalidad entre las dos variables analizadas, clima y accidentes de tránsito, se procedió a determinar el índice de correlación y coeficiente de determinación, correspondiente al periodo del análisis comprendido entre los años 2019 al 2023, por cada estación meteorológica y conforme a los parámetros meteorológicos antes mencionados.

Modelo estadístico aplicado

Para el análisis de la relación entre la variable independiente *clima* y la variable dependiente *accidentes de tránsito*, se aplicó un **modelo de regresión lineal simple**, expresado de la forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

Donde Y representa el número de accidentes de tránsito, X corresponde al parámetro climático analizado, β_0 es la intercepción con el eje, β_1 la pendiente de la recta de regresión y ε el término de error.

Se utilizó un modelo de regresión lineal simple porque el objetivo fue analizar de manera independiente el efecto de cada parámetro climático sobre los accidentes de tránsito. Este enfoque permite identificar la influencia particular de la precipitación, la humedad relativa, nubosidad, velocidad del viento y temperatura, sin que la interacción entre variables distorsione el análisis.

El modelo permitió calcular el índice de correlación (r), que mide la fuerza y dirección de la relación lineal entre las variables, y el coeficiente de determinación (R^2), que indica el porcentaje de variabilidad en los accidentes de tránsito que puede ser explicada por el factor climático considerado. Estos resultados sirvieron como base estadística para sustentar la



propuesta de implementación de un sistema de alerta temprana hidrometeorológico en la ciudad de Quito.

Es importante mencionar que, en este periodo de estudio, se produjeron restricciones de tráfico a consecuencia de la pandemia del Covid-2019, las que comenzaron en marzo de 2020, cuando se implementaron toques de queda y confinamientos para frenar la propagación del virus, estas medidas incluyeron la limitación de la circulación de vehículos y la prohibición de reuniones masivas. A medida que la pandemia avanzó, las autoridades ajustaron las restricciones, permitiendo cierta movilidad bajo protocolos de bioseguridad; sin embargo, las restricciones continuaron en diferentes niveles a lo largo de 2021, especialmente en respuesta a nuevos brotes y variantes del virus. Además, se observó un aumento en el uso de bicicletas y transporte alternativo, ya que las personas buscaron evitar el transporte público por razones de salud.

En el análisis realizado, en lo que se refiere a los años 2020 y 2021, algunas de las estaciones meteorológicas, no registraron información, y en las que se obtuvo información se registraron valores inusuales, que se justifican por las restricciones significativas en el tráfico y la movilidad debido a la pandemia de COVID-19, tanto en Ecuador como en la ciudad de Quito.

Para efectos del análisis en adelante, se distinguen con **valor rojo** los registrados en el año de pandemia del Covid 2019 y con **color azul** corresponde al año 2021 post pandemia y **S/I** corresponde a que no existe información en ese periodo.

Determinación del índice de correlación y coeficiente de determinación en las estaciones meteorológicas seleccionadas.

4.2.1 Precipitación (cantidad de lluvia).

A partir de la información obtenida en función de las variables de análisis, se procedió a calcular los índices de correlación en las estaciones meteorológicas analizadas, los que se desglosan en la tabla 2.

Tabla 2

Índice de correlación promedio anual precipitación estaciones meteorológicas seleccionadas, periodo 2019-2023.

Estaciones meteorológicas	Años 2019/2023					MEDIA
	2019	2020*	2021	2022	2023	
Iñaquito	0.642	0.761	0.371	0.327	0.948	0.610
Tomalón	0.602	S/I	S/I	0.538	0.286	0.475
Izobamba	0.597	-0.194	0.524	0.393	0.845	0.433
Rumihurco	0.896	-0.093	0.863	0.639	S/I	0.577



El Troje	0.583	0.047	0.386	0.323	0.875	0.443
Aeropuerto DAC	0.767	-0.201	0.811	0.344	S/I	0.430
MEDIA	0.681		0.591	0.427	0.738	0.609

Fuente: elaboración propia.

En los años 2019 y 2023, que registraron las más altas precipitaciones del periodo de estudio, se presentan los índices más altos de correlación, indican una correlación positiva fuerte, entre las dos variables analizadas. Las estaciones meteorológicas de Iñaquito y Rumihurco son las que presentaron los valores más altos del índice de correlación. En general para los cinco años de análisis, se obtuvo un índice de correlación promedio de 0.609, sin considerar el año 2020 por lo antes mencionado; lo que, indica una correlación positiva moderada entre las dos variables. Esto significa que, a medida que una variable aumenta, la otra también tiende a aumentar, aunque no de manera perfecta.

Del mismo modo, se procedió a calcular los coeficientes de determinación obtenidos en las estaciones meteorológicas analizadas, los que se desglosan en la tabla 3.

Tabla 3
Coeficiente de determinación promedio anual precipitación estaciones meteorológicas seleccionadas, periodo 2019-2023.

Estaciones meteorológicas	Años 2019/2023					MEDIA
	2019	2020*	2021	2022	2023	
Iñaquito	0.413	0.441	0.137	0.107	0.899	0.399
Tomalón	0.362	S/I	S/I	0.289	0.082	0.244
Izobamba	0.356	0.441	0.275	0.154	0.713	0.375
Rumihurco	0.803	0.009	0.745	0.409	S/I	0.652
El Troje	0.341	0.002	0.149	0.104	0.765	0.340
Aeropuerto DAC	0.585	0.040	0.658	0.119	S/I	0.454
MEDIA	0.477		0.393	0.197	0.615	0.411

Fuente: elaboración propia.

Los valores más altos del coeficiente de determinación R^2 , se registraron en las estaciones meteorológicas de Rumihurco e Iñaquito. El año 2023, presenta un $R^2= 0.615$, sugiere que el modelo es bastante efectivo para predecir, ya que un R^2 cercano a 1 implica un buen ajuste. En lo que respecta al valor promedio de $R^2 = 0.411$, en los 5 años del análisis, considerando los años atípicos antes mencionados, significaron que a medida que la variable independiente aumenta, la variable dependiente también tiende a aumentar.

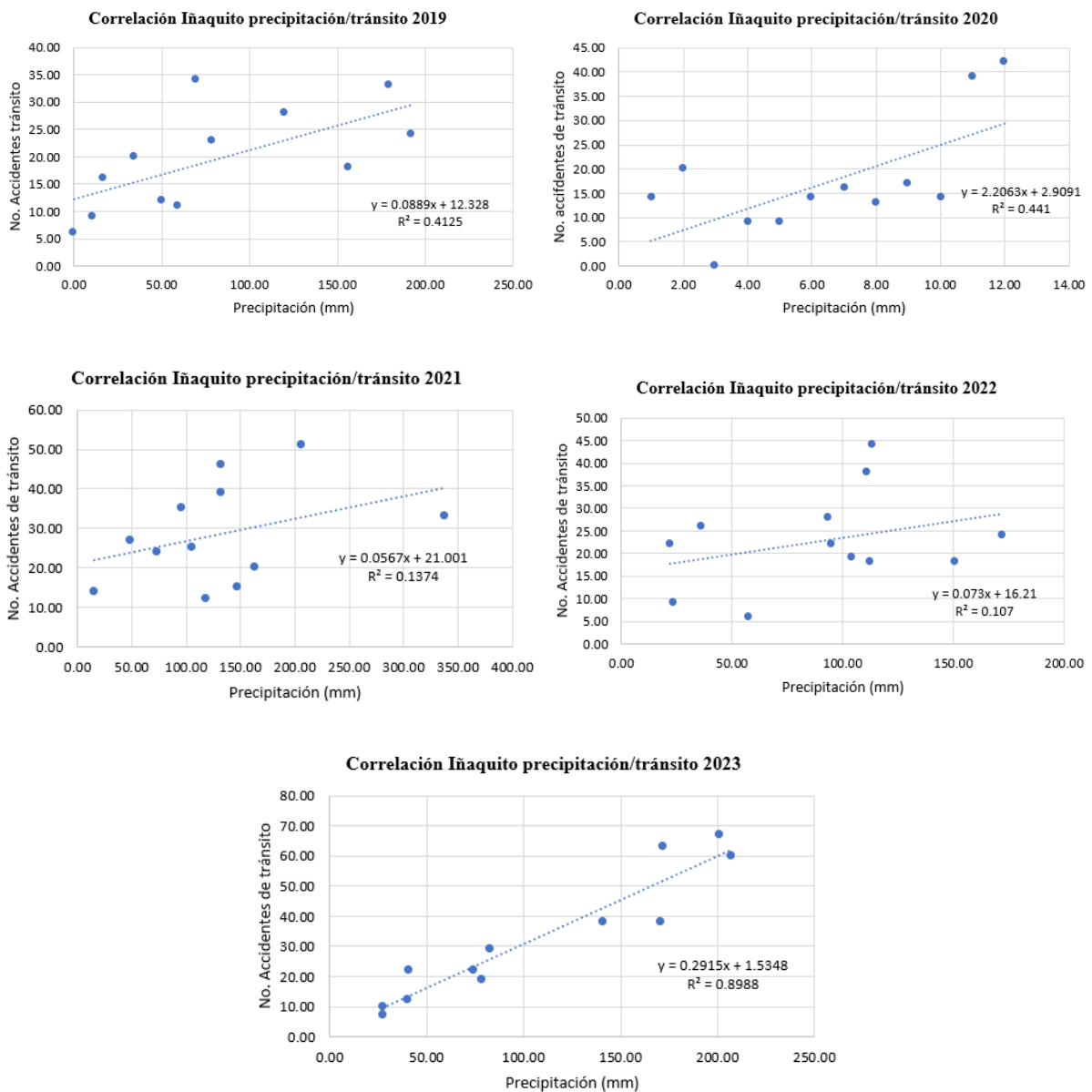


De los resultados obtenidos, se puede apreciar que los valores más altos de correlación y determinación se registraron en los años 2019 y 2023. Los años 2020 (pandemia Covid), 2021 (post pandemia) y 2022 registraron los valores más bajos.

En los gráficos 1 y 2, se determinó la relación existente entre ambas variables, en las estaciones meteorológicas que presentan los valores más altos, de correlación y determinación, pudo apreciarse la ecuación de tendencia generada y el coeficiente de determinación R^2 .

Gráfico 1

Índice de correlación y determinación precipitación mensual estación meteorológica de Iñaquito, periodo 2019-2023.

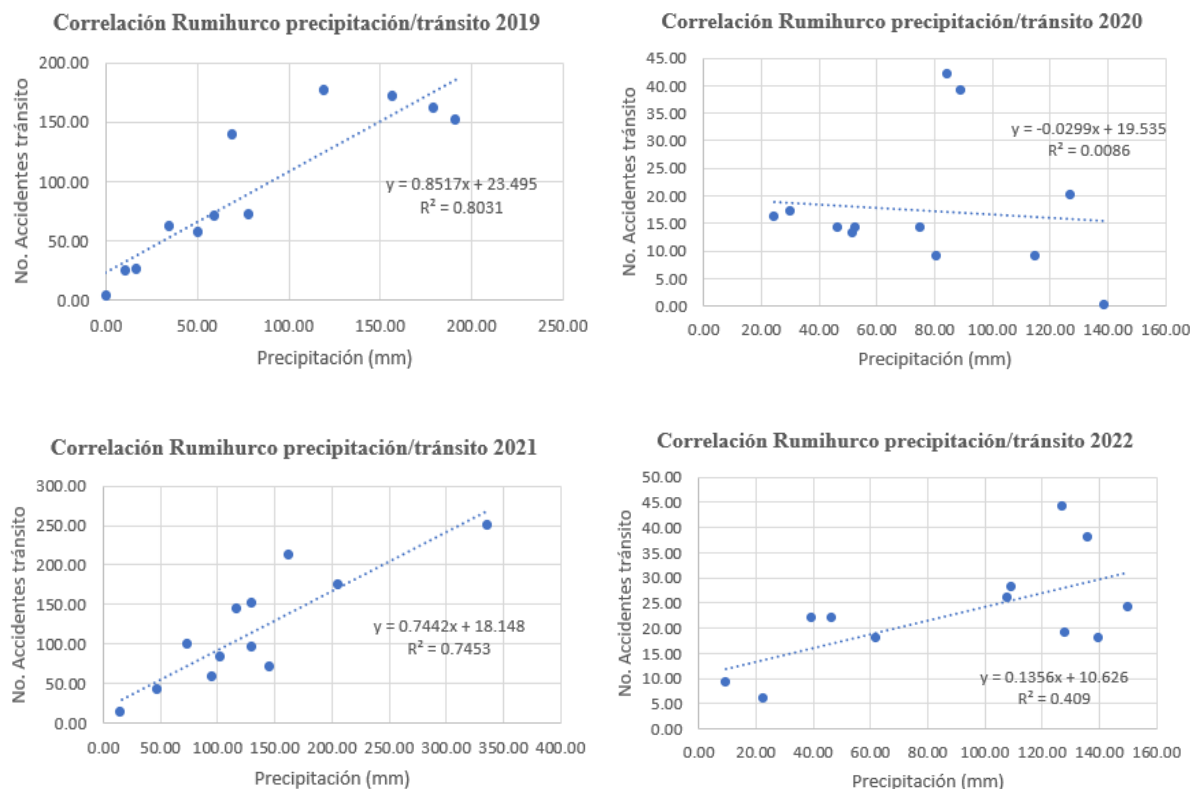


Fuente: elaboración propia.



Gráfico 2

Índice de correlación y determinación precipitación mensual estación meteorológica de Rumihurco, periodo 2019-2022.



Fuente: elaboración propia.

4.2.2 Humedad relativa.

A partir de la información obtenida en función de las variables de análisis, se procedió a calcular los índices de correlación en las estaciones meteorológicas analizadas, los que se desglosan en la tabla 4.

Tabla 4

Índice de correlación promedio anual humedad relativa estaciones meteorológicas seleccionadas, periodo 2019-2023.

Estaciones meteorológicas	Años 2019/2023					MEDIA
	2019	2020*	2021	2022	2023	
Iñaquito	0.786	REST.	0.222	0.464	0.676	0.537
Tomalón	0.787	REST.	0.210	0.538	0.687	0.556
Izobamba	0.771	REST.	0.146	0.492	0.845	0.564
Rumihurco	S/I	REST.	0.569	0.773	S/I	0.671
El Troje	S/I	REST.	0.482	0.638	0.770	0.630
MEDIA	0.782		0.326	0.581	0.744	0.591

Fuente: elaboración propia.



En los años 2019 y 2023, se presentaron los índices más altos de correlación, los que, registraron una correlación positiva fuerte, entre las dos variables analizadas. Las estaciones meteorológicas de Rumihurco, El Troje, son las que presentaron los valores más altos del índice de correlación. En general para los años de análisis, se obtuvo un índice de correlación promedio de 0.591 (sin considerar el año 2020), indicaron una correlación positiva moderada entre las dos variables. Esto significó que, a medida que la una variable aumentó, la otra también tendió a aumentar, aunque no de manera perfecta.

Del mismo modo, se procedió a calcular los coeficientes de determinación obtenidos en las estaciones meteorológicas analizadas, los que se desglosan en la tabla 5.

Tabla 5

Coeficiente de determinación promedio anual humedad relativa estaciones meteorológicas seleccionadas, periodo 2019-2023.

Estaciones meteorológicas	Años 2019/2023					MEDIA
	2019	2020*	2021	2022	2023	
Iñaquito	0.619	REST	0.049	0.215	0.457	0.335
Tomalón	0.620	REST	0.044	0.218	0.472	0.339
Izobamba	0.595	REST	0.021	0.243	0.432	0.323
Rumihurco	S/I	REST	0.323	0.598	S/I	0.461
El Troje	S/I	REST	0.233	0.407	0.593	0.411
MEDIA	0.611		0.134	0.336	0.489	0.374

Fuente: elaboración propia.

Los valores más altos del coeficiente de determinación R^2 , se registraron en las estaciones meteorológicas de Rumihurco y El Troje. El año 2019, presentó un $R^2 = 0.611$, esto sugiere que, el modelo es bastante efectivo para predecir. En lo que respecta al valor promedio de $R^2 = 0.374$, en los 5 años del análisis, considerando los años atípicos antes mencionados, significaron que a medida que la variable independiente aumenta, la variable dependiente también tiende a aumentar.

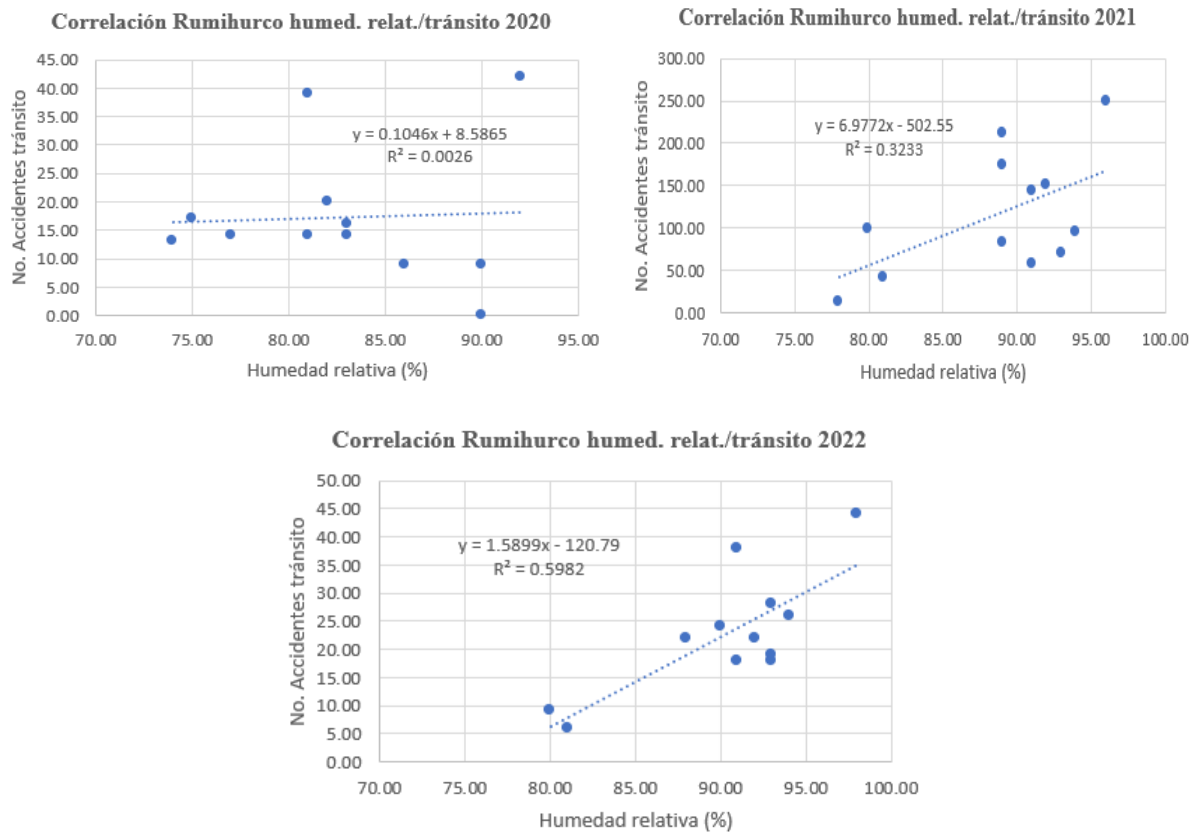
De los resultados obtenidos, se pudo apreciar que los valores más altos de correlación y determinación se registraron en los años 2019 y 2023. Los años 2020 (pandemia Covid), 2021 (post pandemia) y 2022 registraron los valores más bajos.

En los gráficos 3 y 4, se determinó la relación existente entre ambas variables, en las estaciones meteorológicas que presentaron los valores más altos, relacionados con los índices de correlación y coeficiente de determinación, pudo apreciarse la ecuación de tendencia generada y el coeficiente de determinación R^2 .



Gráfico 3

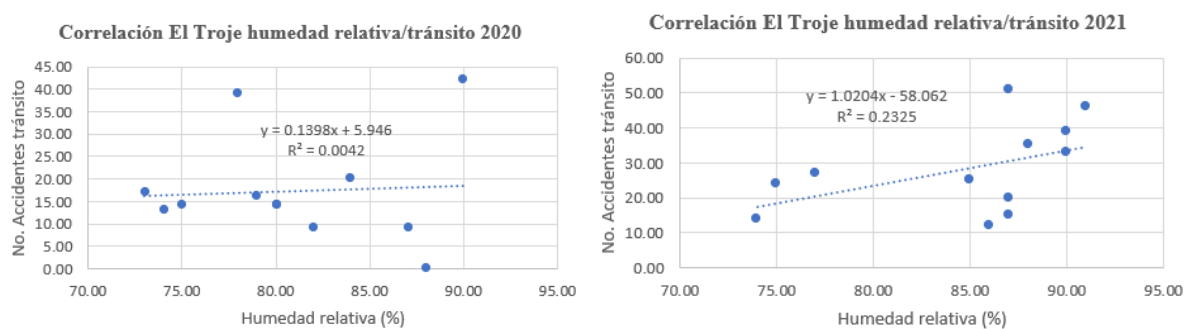
Índice de correlación y determinación humedad relativa mensual estación meteorológica de Rumihurco, periodo 2020-2022.

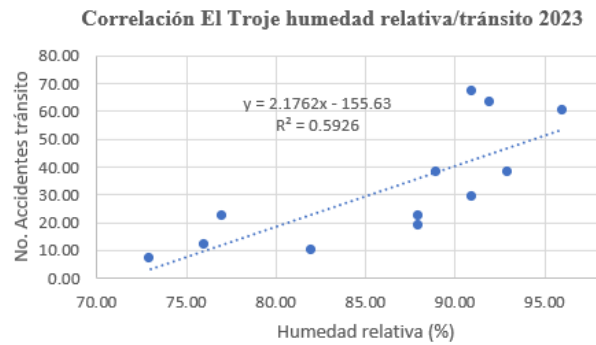
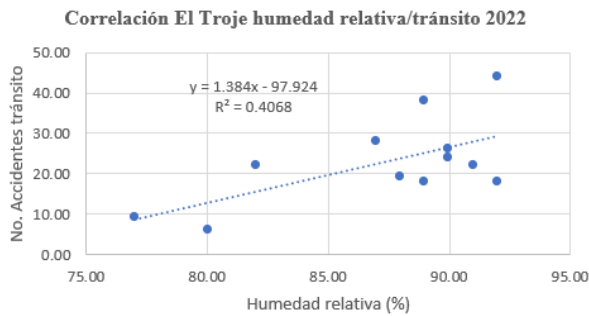


Fuente: elaboración propia.

Gráfico 4

Índice de correlación y determinación humedad relativa mensual estación meteorológica de El Troje, periodo 2021-2023.





Fuente: elaboración propia.

4.2.3 Nubosidad.

A partir de la información obtenida en función de las variables de análisis, se procedió a calcular los índices de correlación y determinación obtenidos de la estación meteorológica de Izobamba, los que se desglosan en la tabla 6.

Tabla 6

Índice de correlación y determinación nubosidad promedio anual estación meteorológica de Izobamba, periodo 2019-2023.

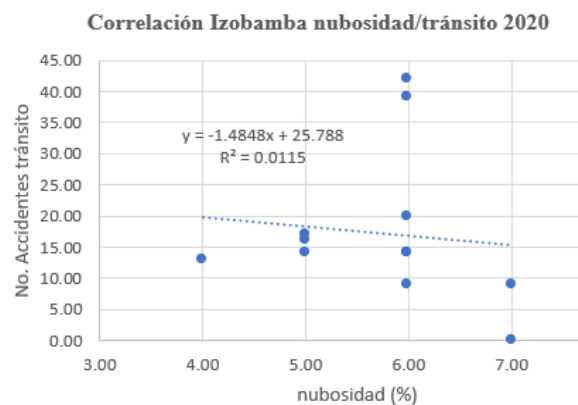
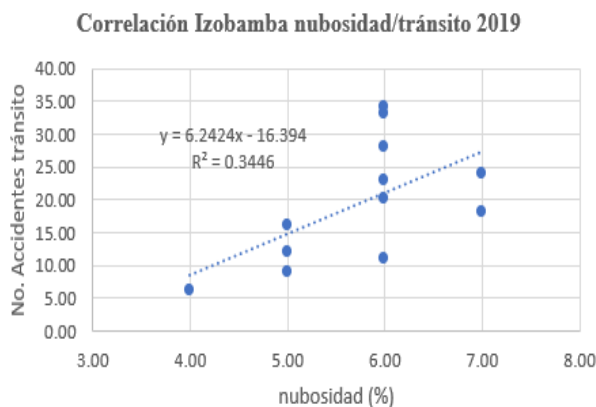
Índice	Años 2019/2023					PROMEDIO
	2019	2020*	2021	2022	2023	
Correlación	0.587	-0.107	0.177	0.379	0.777	0.480
Determinación	0.345	0.012	0.031	0.143	0.604	0.281

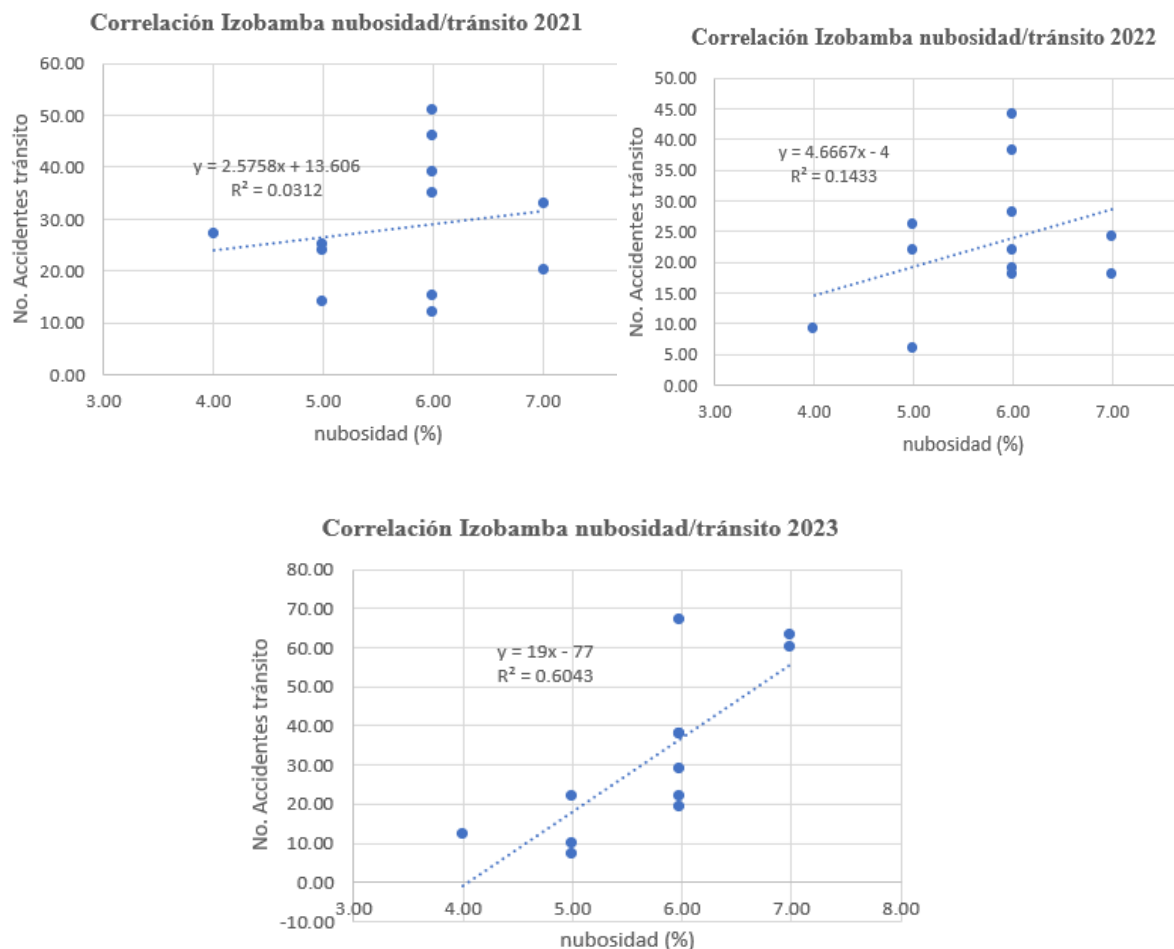
Fuente: elaboración propia.

En el grafico 5, se determinó la relación existente entre ambas variables, pudiendo apreciarse la ecuación de tendencia generada y el coeficiente de determinación R^2 .

Gráfico 5

Índice de correlación y determinación nubosidad mensual estación meteorológica de Izobamba, periodo 2019-2023.





Fuente: elaboración propia.

De los resultados obtenidos, se pudo apreciar que los valores más altos de correlación y determinación se registraron en los años 2019 y 2023. El año 2020 registro un índice de correlación de -0.107, lo que determinó una correlación negativa débil entre las dos variables, signifió que, aunque hay una tendencia a que una variable disminuya cuando la otra aumenta, la relación no es fuerte ni consistente.

Por lo expuesto, sin considerar el año 2020, se obtuvo un índice de correlación promedio de 0.480, este valor indicó una correlación positiva moderada entre las dos variables, a medida que una variable aumenta, la otra también tiende a aumentar, aunque no de manera perfecta.

El mayor valor del coeficiente de determinación $R^2 = 0.604$ se registró en el año 2023, el cual sugiere que aproximadamente el 60.4% de la variabilidad en la variable dependiente puede ser explicada por las variables independientes y que el modelo tiene un buen ajuste y que las variables independientes son bastante efectivas para predecir la variable dependiente.



En lo que respecta al valor promedio de $R^2 = 0.281$, en los 5 años del análisis, considerando los años atípicos antes mencionados, significa que solo el 28.1% de la variabilidad en la variable dependiente es explicada por las variables independientes.

4.2.4 Temperatura.

A partir de la información obtenida en función de las variables de análisis, se procedió a calcular los índices de correlación de las estaciones meteorológicas seleccionadas, los que se desglosan en la tabla 7.

Tabla 7

Índice de correlación temperatura promedio anual estaciones meteorológicas, periodo 2019-2023.

Estaciones meteorológicas	Años 2019/2023					PROMEDIO
	2019	2020*	2021	2022	2023	
Iñaquito	-0.799	-0.342	-0.383	-0.472	-0.668	-0.533
Tomalón	-0.299	-0.243	-0.373	0.237	0.286	-0.078
Izobamba	0.402	-0.388	-0.266	0.083	-0.525	-0.139
Rumihurco	S/I	-0.572	-0.219	-0.234	S/I	-0.342
El Troje	S/I	-0.673	-0.469	-0.236	-0.487	-0.466
Aeropuerto DAC	-0.754	-0.515	-0.548	-0.284	-0.537	-0.528
Media	-0.363	-0.456	-0.376	-0.151	-0.386	-0.348

Fuente: elaboración propia.

Respecto a los datos obtenidos, se obtuvieron valores negativos respecto al coeficiente de correlación, los valores negativos más altos se registraron en el año 2020, lo que se justifica debido a las restricciones significativas en el tráfico y la movilidad como consecuencia de la pandemia de COVID-19. Los años 2021 (pos pandemia) y 2023 registraron también valores negativos altos.

El índice de correlación promedio obtenidos en las estaciones meteorológicas seleccionadas, registraron un valor de -0.348, que corresponde a una correlación negativa moderada entre dos variables. Esto significa que, en general, a medida que una variable aumenta, la otra tiende a disminuir, aunque esta relación no es extremadamente fuerte como para hacer predicciones precisas.

Del mismo modo, se procedió a calcular los coeficientes de determinación de las estaciones meteorológicas seleccionadas, los que se desglosan en tabla 8.



Tabla 8

Coefficiente determinación temperatura promedio anual, estaciones meteorológicas, periodo 2019-2023.

Estaciones meteorológicas	Años 2019/2023					PROMEDIO
	2019	2020*	2021	2022	2023	
Iñaquito	0.639	0.117	0.147	0.223	0.446	0.314
Tomalón	0.090	0.059	0.139	0.056	0.489	0.167
Izobamba	0.162	0.151	0.071	0.007	0.275	0.133
Rumihurco	S/I	0.327	0.048	0.055	S/I	0.143
El Troje	S/I	0.453	0.220	0.113	0.018	0.201
Aeropuerto DAC	0.568	0.266	0.300	0.081	0.446	0.332
Media	0.365	0.229	0.154	0.089	0.335	0.215

Fuente: elaboración propia.

Un coeficiente de determinación promedio obtenidos en las estaciones meteorológicas seleccionadas, de 0.215 indico que aproximadamente el 21.5% de la variabilidad en la variable dependiente puede ser explicada por las variables independientes en el modelo de regresión.

Este valor sugiere que el modelo tiene un ajuste relativamente bajo. En general, un R^2 por debajo de 0.3 no explica bien la variabilidad de la variable dependiente, esto significa que hay otros factores no incluidos en el modelo que influyen en la variable dependiente o que la relación entre las variables no es lineal.

Por todo lo anteriormente mencionado, se puede inferir que el parámetro temperatura ambiental, no influyó en la incidencia de los accidentes de tránsito en el área de estudio.

4.2.5 Velocidad del viento.

A partir de la información obtenida en función de las variables de análisis, se procedió a calcular los índices de correlación de las estaciones meteorológicas seleccionadas, los que se desglosan en la tabla 9.

Tabla 9

Índice de correlación velocidad del viento promedio anual, estaciones meteorológicas, periodo 2019-2023.

Estaciones meteorológicas	Años 2020/2021		PROMEDIO
	2020*	2021	
Rumihurco	-0.093	-0.536	-0.314
El Troje	0.047	-0.614	-0.284
Media	-0.023	-0.575	-0.299

Fuente: elaboración propia.



Respecto a los datos obtenidos en las dos estaciones meteorológicas que disponen de información relacionada con la velocidad del viento, los valores registrados en el año 2020, presentaron valores atípicos con relación a los que se registran en el año 2021, lo que se justifica debido a las restricciones significativas en el tráfico y la movilidad como consecuencia de la pandemia de COVID-19.

Un índice de correlación de -0.299 indico una correlación negativa débil entre dos variables. Esto significa que, aunque existe una relación inversa, esta no es lo suficientemente fuerte como para ser considerada significativa. En términos prácticos, a medida que una de las variables aumenta, la otra tiende a disminuir, pero esta tendencia no es muy pronunciada, lo que sugiere que la relación es débil y que otros factores podrían estar influyendo en las variables analizadas.

Del mismo modo, se procedió a calcular los coeficientes de determinación de las estaciones meteorológicas seleccionadas, los que se desglosan en tabla 10.

Tabla 10

Coficiente determinación velocidad del viento promedio anual, estaciones meteorológicas, periodo 2019-2023.

Estaciones meteorológicas	Años 2020/2021		PROMEDIO
	2020*	2021	
Rumihurco	0.016	0.287	0.152
El Troje	0.047	0.377	0.212
Media	0.032	0.332	0.182

Fuente: elaboración propia.

Un coeficiente de determinación (R^2) promedio de 0.182 indicó que aproximadamente el 18.2% de la variabilidad de la variable dependiente puede ser explicada por el modelo de regresión utilizado, esto sugiere que el modelo tiene una capacidad limitada para predecir la variable de interés, ya que una gran parte de la variabilidad (81.8%) no está siendo explicada por las variables independientes incluidas en el modelo.

Por todo lo anteriormente mencionado, se pudo inferir que el parámetro velocidad del viento, no influyó en la incidencia de los accidentes de tránsito en el área de estudio.

4.3. SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA HIDROMETEOROLOGICA - SAT-H.



La alerta temprana es un sistema integrado de vigilancia, previsión y predicción de amenazas, evaluación de los riesgos de desastres, actividades, sistemas y procesos de comunicación y preparación que permita a las personas, las comunidades, los gobiernos, las empresas y otras partes interesadas adoptar las medidas oportunas para reducir los riesgos de desastres con antelación a sucesos peligrosos (UNISDR -, Asamblea General, Naciones Unidas, 2016). concepto que también es considerado en el Plan Nacional de Gestión de Desastres (SGR, 2018).

En entrevista realizada al Dr. Franco Basso, PhD., Académico Escuela Ingeniería Industrial, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, autor del artículo "Real-time crash prediction in an urban expressway using disaggregated data", informo que para su estudio se consideró un tramo de la Autopista Central de Chile, para el que, se desarrolló un modelo matemático predictivo que es capaz de predecir si se va a producir un accidente de tránsito, el modelo realizó un cruce de información entre la data histórica, cómo se comportó el flujo y los accidentes que ocurrieron en un periodo analizado, para lo cual se disponía de información en tiempo real por cada vehículo que circula por la autopista. **Anexo 4.**

Menciona que, en lo que respecta al modelo que se implementó para la autopista central de Chile se obtuvo un porcentaje de acertabilidad entre el 65% a 75%, considerando un falso positivo típico del 20%. Planteó que este modelo de predicción podría implementarse en la ciudad de Quito, pero para ello, se requiere, determinar factores como: flujo vehicular: cantidad de vehículos livianos o pesados que circulan por las vías que se van a monitorear, disponer de datos con cámaras, radares y una base precisa y confiable de ocurrencia de accidentes de tránsito en las zonas de estudio, planteó un piloto en una vía que cuente con un ambiente protegido (controlado), con mucho tráfico y que este muy sensorizado.

En base a todo lo anteriormente mencionado, y demostrada la relación existente entre la ocurrencia de los accidentes de tránsito a consecuencia de diversos factores, entre ellos el climático y determinada la posibilidad de predecir la ocurrencia de los accidentes de tránsito en las vías de mayor circulación en la ciudad de Quito, se planteó la posibilidad de implementar un sistema de alerta hidrometeorológica que contribuya a la reducción de los accidentes de tránsito en la ciudad de Quito.

4.3.1. Diseño de un Sistema de Alerta Temprana:

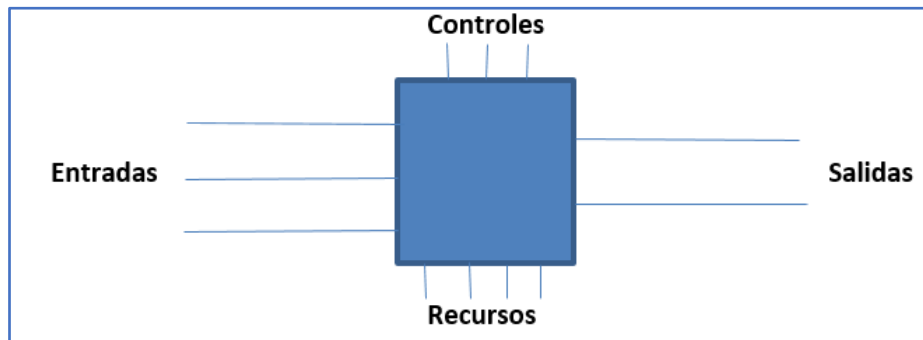
Un sistema de alerta temprana, conceptualizando holísticamente como un proceso: actividades interrelacionadas y sistémicas, que transforman información e insumos (entradas), alineados por normas, directrices, políticas (controles), que aprovechan las capacidades existentes y



disponibles (recursos), para generar soluciones factibles, en este caso la reducción de los índices de accidentes de tránsito (salidas), se visualiza en el siguiente esquema:

Grafico 6

Entradas, salidas, controles, recursos, sistema alerta temprana hidrometeorológica.

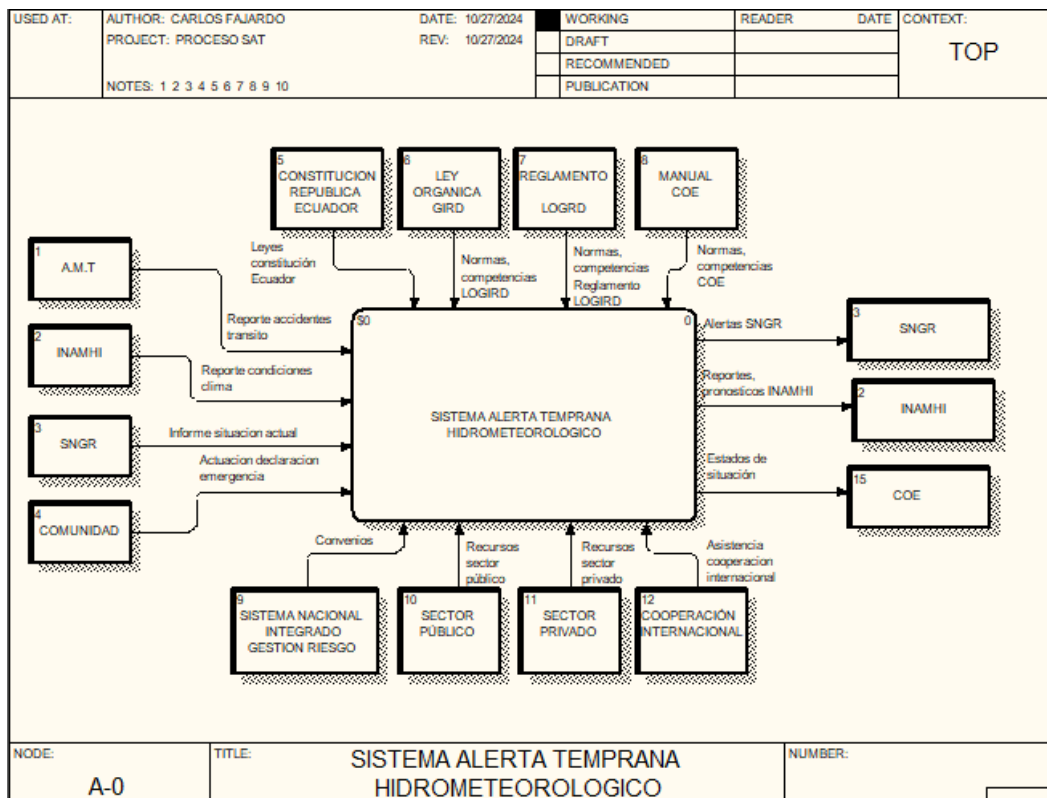


Fuente: elaboración propia.

Para el diseño del sistema de alerta temprana hidrometeorológico propuesto, se identificaron los elementos propuestos en el siguiente esquema:

Grafico 7

Diseño sistema alerta temprana hidrometeorológica (nivel 1).



Fuente: elaboración propia.

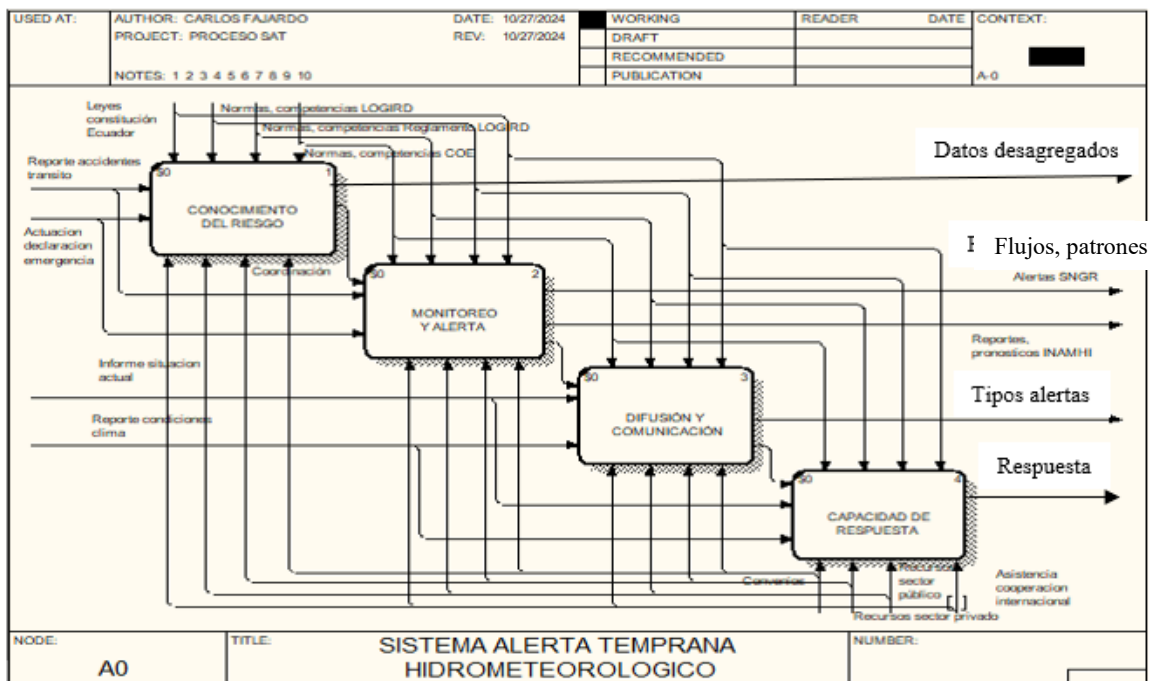


Al respecto, el Sistema de Alerta Temprana, comprende los siguientes componentes:

- **Conocimiento del Riesgo:** Implica identificar la situación actual de la problemática planteada, determinar cuáles son los requerimientos de información para la implementación del SAT HM, establecer la ubicación, alcance, magnitud, recurrencia; y datos básicos sobre las vulnerabilidades: física, cultural, institucional, económica, social, técnica.
- **Monitoreo y Alerta:** Determinar los alcances, calidad del monitoreo; posibilidad de determinar los niveles de alerta y pronósticos en una primera fase (proyecto piloto), correspondientes a los diferentes estados de la amenaza en función del alcance del monitoreo y temporalidad.
- **Difusión y Comunicación:** Identificar los canales adecuados de forma que la información oficial se contextualice en un lenguaje simple y entendible, estableciéndose formatos y protocolos de comunicación. La información debe respetar los canales de distribución y competencias, de tal forma se pueda organizar la respuesta.
- **Capacidad de Respuesta:** Es esencial tener preparativos efectivos y probados (planes con simulacros), esto incluye la coordinación de los diferentes estamentos, a través de los Centros de Operaciones de Emergencia (COE).

Grafico 8

Diseño sistema alerta temprana hidrometeorológica (nivel 2).



Fuente: elaboración propia.



4.3.1. Conocimiento del riesgo.

Varios ejes viales que flanquean la ciudad de norte a sur se han identificado como particularmente peligrosos debido a la alta incidencia de accidentes de tránsito, siendo las principales vías: Av. Simón Bolívar, con 251 siniestros en el año 2021 y 250 siniestros en el año 2022; Av. Mariscal Sucre, con 241 siniestros en el año 2021 y 233 siniestros en el año 2022; Av. Pedro Vicente Maldonado, con 96 siniestros en el año 2021 y 111 siniestros en el año 2022; Oswaldo Guayasamín (Interoceánica Norte) con 98 siniestros y la avenida 6 de diciembre con 67 siniestros en el año 2022 (El Comercio, 2023).

Conforme a entrevista realizada al Ing. German López, director de Revisión Técnica Vehicular del Distrito Metropolitano de Quito, en el Sistema Metropolitano de Información (SMI) se reportan indicadores relacionados referente a: número de siniestros, número de revisiones técnicas vehiculares y número de operativos realizados por la AMT, establece que la avenida Simón Bolívar, es uno de vías de mayor siniestralidad en el D.M.Q. **Anexo 5.**

En Reunión convocada por la Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos del Municipio de Quito, en la que participaron diversos autores, la Agencia Metropolitana de Transito – AMT, reconoce en la vía Av. Simón Bolívar, seis puntos como los más propensos a accidentes de tránsito, determinándose como áreas de mayor impacto: La forestal, Loma de Puengasi; Ruta Viva; Universidad Internacional: Guápulo; Granados y Gualo, los accidentes vehiculares generados en estas zonas se deben a varios factores, por ejemplo, la sinuosidad que presenta la avenida, las zonas donde se concentra un considerable flujo vehicular, factores climáticos, exceso de velocidad, que sobrepasa los límites establecidos en la ley, probablemente en los tramos rectos de la vía (**Anexo 6**).

Al respecto la Agencia Metropolitana de Tránsito informo que anteriormente se instalaron 18 radares fijos en el Distrito Metropolitano de Quito, de estos ocho fueron instalados en la Av. Simón Bolívar en los siguientes sectores: Loma de Puengasi; Universidad Internacional (ambos sentidos S-N / N-S); la Hormigonera; Guápulo (Ambos sentidos S-N / N-S); casa de la Selección; entrada a Nayon. Algunos de estos han sido retirados, de acuerdo a las nuevas disposiciones emitidas por los organismos pertinentes.

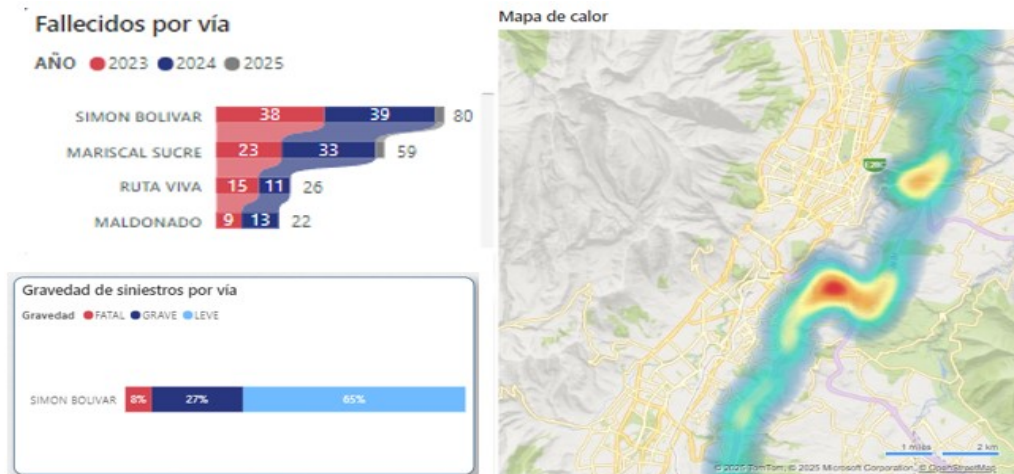
Por lo expuesto, y considerando la entrevista en mención, el autor pudo determinar en consenso que la Avenida Simón Bolívar, al ser una de las vías más monitoreadas y controladas por el Distrito Metropolitano de Quito, es la más propicia para la implementación de un Sistema de alerta temprana hidrometeorológica, considerando también, sus altos índices de



congestionamiento y tráfico, debido a que, desde el punto de vista técnico, se pudo apreciar con notoriedad que existe una gran concentración de accidentes por las razones antes expuestas.

Gráfico 9

Accidentes de tránsito, Av. Simón Bolívar, sector El Troje.



Fuente: AMT, Quito Data Vial, 2024

Gráfico 10

Accidentes de tránsito, Av. Simón Bolívar, factor clima, sector El Troje.



Fuente: (Teleamazonas, 13 febrero 2025)

Por lo expuesto, el sistema para la vía en mención, debería contemplar lo siguiente:

Datos de tráfico en tiempo real

La Agencia Metropolitana de tránsito, dispone de la información requerida, relacionada con:



- **Flujo de tráfico:** El número de vehículos que pasan por un segmento de la vía en intervalos de tiempo cortos.
- **Velocidad media:** La velocidad promedio por vehículo en un intervalo de tiempo específico, la que se puede calcular.
- **Densidad del tráfico:** La cantidad de vehículos por unidad de longitud de carretera, que se calcula como el flujo de vehículos dividido por la velocidad.
- **Distribución temporal:** Estimaciones de cómo cambian las condiciones del tráfico a lo largo del día (por ejemplo, hora pico, mediodía, noche).

Datos históricos accidentes de tránsito

La Agencia Metropolitana de tránsito (AMT, Quito Data Vial, 2024), dispone de información detallada relacionada con:

- **Frecuencia y tipo de accidentes:** Datos históricos, cifras generales, perfil de víctimas, horario de siniestros, siniestros por vía.
- **Patrones temporales:** Datos diarios y por hora de los siniestros de tránsito, en el que se incluye la vía Simón Bolívar (objeto de estudio). y condiciones bajo las cuales los accidentes ocurren con mayor frecuencia Incluye mapas por ubicación de siniestros y mapas de calor, toda esta información la disponen por día y hora.
- **Causas asociadas a accidentes:** Información sobre factores comunes de accidentes tipo y causa probable, incluyendo el tipo de accidente (factor climático, colisión, volcadura, etc.), la severidad (accidentes leves, graves, fatales), y su ubicación.

Condiciones meteorológicas

En el Distrito Metropolitano de Quito, existe actualmente una red aproximada de 32 estaciones meteorológicas, instaladas y operadas por varias instituciones municipales como la secretaria de Ambiente, EMAAPS y el Instituto Nacional de Meteorología.

Se considera importante la incorporación de nuevas estaciones climáticas que puedan incidir en la vía de estudio, por lo que se mencionan las estaciones de El Troje (que se analizó en este estudio) y otras como: Puengasi y Bellavista. Es importante, también considerar instalar pluviómetros en las zonas de mayor ocurrencia de los accidentes de tránsito anteriormente mencionados. Los parámetros climáticos principales de estudio son:



- **Precipitación:** Valores diarios y máxima precipitación 24 horas, que permita determinar la cantidad de lluvia o granizo que cae en el área.
- **Visibilidad:** Valores de nubosidad diaria y por lo menos 5 observaciones diarias, a lo largo de la carretera (que puede verse afectada por niebla, lluvia, granizo, etc.).
- **Humedad relativa:** Porcentaje de vapor de agua presente en el aire, que puede influir en el comportamiento de los conductores y las condiciones de la carretera.
- **Temperatura:** Valores de temperaturas extremas, medias, máximas y mínimas, por día y hora que, pueden afectar la adherencia de los neumáticos al asfalto y comportamiento del conductor.
- **Viento:** velocidad y dirección del viento, datos por día y hora, que inciden en las condiciones de la carretera, e influyen en el comportamiento del conductor.

Características de la carretera

Respecto a los aspectos relacionados con: geometría de la vía, estado de la superficie de la carretera, presencia de obras viales o cierres de carriles, esta información está disponible en la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas – EPMOP.

- **Geometría de la vía:** Curvas, pendientes y otras características geométricas que puedan afectar la seguridad (por ejemplo, áreas con alta pendiente o intersecciones complejas).
- **Estado de la superficie de la carretera:** Información sobre el desgaste de la vía, la presencia de baches, pavimento mojado, entre otros.
- **Presencia de obras viales o cierres de carriles:** Cambios en las condiciones normales de la carretera debido a mantenimiento o construcción.

Datos de comportamiento del conductor

Implementar controles y medios tecnológicos, que permitan determinar los siguientes factores:

- **Exceso de velocidad:** Comportamiento de los conductores que sobrepasan el límite de velocidad establecido.
- **Seguimiento cercano:** Datos relacionados con los comportamientos peligrosos como el no mantener la distancia de seguridad.



- **Detección de maniobras bruscas:** Datos que reflejan movimientos inesperados o peligrosos de los vehículos, como cambios repentinos de carril o frenadas bruscas.

Datos de infraestructura de señalización

En la entrevista realizada a las autoridades del Distrito Metropolitana de Quito, se planteó fortalecer nuevos indicadores en la vía de estudio, determinar el nivel de riesgo en cada punto, lo que se menciona a continuación:

- **Señales de tráfico:** La presencia y el estado de las señales de tráfico (por ejemplo, señales de límite de velocidad, señales de advertencia de curvas peligrosas).
- **Luminarias y visibilidad nocturna:** El funcionamiento de las luces de la carretera y la visibilidad en condiciones nocturnas o de baja visibilidad.

Datos de incidentes no accidentales

Implementar controles y medios tecnológicos, que permitan determinar los siguientes factores:

- **Atascos de tráfico:** Información sobre congestión o condiciones inusuales del tráfico que puedan predisponer a accidentes.
- **Obstáculos en la carretera:** Datos sobre objetos en la vía o eventos inesperados como vehículos averiados o animales.

Variables sociales y de comportamiento

Considerar medidas de coordinación, respecto a:

- **Eventos locales:** Información sobre eventos o actividades cercanas que podrían generar flujos inusuales de tráfico (por ejemplo, conciertos, actividades deportivas, festivales).
- **Comportamiento de los conductores en días festivos o vacaciones:** Estudio de patrones de comportamiento distintos en días de mayor tráfico.

Otros

- **Número de revisiones técnicas vehiculares:** Las revisiones técnicas son cruciales para asegurar que los vehículos cumplan con los estándares de seguridad y emisiones. Un alto número de vehículos que no aprueban estas revisiones puede indicar un problema significativo en la seguridad vial. Al analizar estos datos, se puede identificar patrones



que correlacionen la falta de mantenimiento vehicular con un aumento en los accidentes.

- **Número de operativos realizados por la AMT:** Los operativos realizados por la AMT, que pueden incluir controles de velocidad, verificación de documentos y condiciones del vehículo, permiten evaluar la efectividad de las políticas de seguridad vial. Al correlacionar el número de operativos con las estadísticas de accidentes, se puede determinar si un aumento en la vigilancia reduce efectivamente la siniestralidad

4.3.2. Monitoreo y Alerta.

Se consideran los siguientes protocolos:

Monitoreo y detección en tiempo real

El primer paso es establecer un monitoreo constante de las variables antes mencionadas, que contemple un sistema de sensores, cámaras, y otros dispositivos. Esto incluye:

- **Flujo de tráfico, velocidad media y densidad del tráfico:** Estas métricas permiten detectar congestiones, posibles atascos e identificar patrones anormales en el tráfico. Las alertas se pueden activar si los valores superan los umbrales previamente definidos en los modelos predictivos a ser implementados.
- **Condiciones meteorológicas:** La detección de lluvia, niebla, humedad relativa, y otros parámetros climáticos, influyen directamente en la seguridad vial. El sistema puede alertar sobre áreas con condiciones meteorológicas adversas.
- **Estado de la carretera:** Instalación de sensores para medir el estado del pavimento, la presencia de baches o trabajos viales, lo que permitirá generar alertas para avisar a los conductores sobre posibles riesgos.

Análisis predictivo y patrones de riesgo

Con base en los datos históricos de accidentes y la información en tiempo real, el sistema puede generar predicciones y detectar zonas de alto riesgo.

- **Patrones temporales de accidentes:** Si el sistema detecta condiciones similares a las que históricamente han sido peligrosas (condiciones climáticas, inundaciones, deslaves, daños en la carretera, otros), se activarían las alertas para advertir a los conductores.



- **Comportamiento del conductor:** El monitoreo del exceso de velocidad, maniobras bruscas o seguimiento cercano puede ser utilizado para predecir comportamientos de conducción peligrosos. Si se detectan comportamientos de riesgo, el sistema generaría alertas inmediatas e incluso se notificaría a las autoridades competentes.

4.3.3. Difusión y comunicación

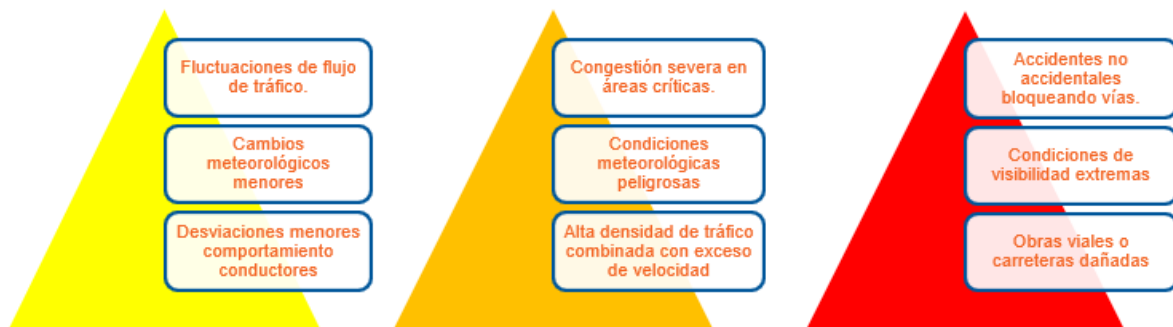
Al respecto es necesario diseñar un enfoque integral y multidimensional que combine los datos disponibles de manera eficiente, y que permita a las autoridades la difusión y comunicación de la información y alerta, en este caso: la Agencia Metropolitana de Tránsito (A.M.T.), Agencia Nacional de Tránsito (A.N.T.), secretaria nacional de Gestión de riesgos (SNGR) y conductores, que permita tomar decisiones informadas en tiempo real, considerando las siguientes variables:

Alertas y notificaciones

Las alertas deben estar orientadas tanto a los conductores como a las autoridades de tránsito para que puedan tomar decisiones rápidas. Las alertas pueden clasificarse en distintos niveles de severidad.

Gráfico 11

Alertas amarilla, naranja y roja, Sistema de Alerta Temprana SAT propuesta D.M.Q.



Fuente: Elaboración propia.

Modelo predictivo

- Para la implementación de un modelo predictivo de accidentes, es esencial combinar estos datos en tiempo real con los históricos. El modelo podría utilizar técnicas de aprendizaje automático (como árboles de decisión, redes neuronales, inteligencia artificial o modelos de regresión) para identificar patrones de accidentes basados en estos factores. La predicción en tiempo real requeriría un sistema de alerta que use los



datos actuales y los compare con las condiciones históricas para estimar el riesgo de accidentes inminentes.

- La agregación de estos datos a diferentes niveles (por ejemplo, por hora, por sección de carretera, por condiciones meteorológicas) permitirá identificar correlaciones y desarrollar algoritmos predictivos más precisos.

4.3.4. Capacidad de respuesta.

Dependiendo de la severidad de la alerta, se activarán distintos mecanismos de respuesta:

Intervención en el campo

- **Para incidentes leves a moderados** (alertas amarillas y naranjas):
 - Notificación a los conductores mediante aplicaciones móviles, señales dinámicas en carreteras y paneles de tráfico variable.
 - Notificación a las autoridades de tránsito para redirigir el flujo o ajustar semáforos.
- **Para incidentes graves o críticos** (alertas rojas):
 - Despliegue de vehículos de emergencia o patrullas en las áreas afectadas.
 - Cierre temporal de vías y redirección del tráfico hacia rutas alternativas, con ayuda de sistemas de gestión de tráfico.
 - Comunicación en tiempo real con los conductores a través de apps, señalización de carreteras, y sistemas de navegación para redirigirlos.

Respuesta social y educativa

El sistema también debería estar conectado con campañas de sensibilización y educación vial. Además de las alertas, debe promover información preventiva para los conductores y pasajeros:

- **Alertas de eventos locales:** Si hay eventos o actividades que podrían generar flujos de tráfico inusuales (conciertos, deportes), se puede advertir a los conductores sobre posibles congestiones y recomendaciones de rutas alternativas.
- **Días festivos o vacaciones:** Información sobre comportamientos de riesgo durante estas fechas (por ejemplo, aumento de velocidad, consumo de alcohol) y consejos para evitar accidentes.



Capacitación y actualización continua

El sistema debe incluir un módulo de capacitación tanto para los conductores como para los operadores de tránsito, con base en datos de comportamiento y accidentes históricos. Además, el sistema debe ser capaz de actualizarse continuamente con los datos más recientes sobre accidentes, condiciones meteorológicas, y nuevas infraestructuras viales.

Infraestructura de respuesta a incidentes

El sistema también debe coordinarse con la infraestructura de respuesta a incidentes, incluyendo:

- **Red de ambulancias, bomberos y policía de tránsito:** Un sistema de comunicación directa entre las alertas del sistema y las unidades de emergencia locales. Esto permite una respuesta más rápida a los accidentes y aumenta la efectividad de la intervención.
- **Centros de control de tráfico:** Donde se centralizan los datos y se toman decisiones sobre redirección de tráfico, activación de semáforos inteligentes y activación de medidas de seguridad como la disminución de velocidad en áreas de riesgo.

Evaluación y retroalimentación

Finalmente, el sistema debe incluir una fase de retroalimentación y evaluación continua:

- **Análisis post incidente:** Una vez que ocurra un incidente, el sistema debe evaluar qué tan efectivas fueron las respuestas y ajustar el algoritmo para futuros eventos.
- **Recopilación de datos de los conductores:** Los datos del comportamiento de los conductores durante y después del evento pueden ser usados para ajustar el sistema y mejorar la toma de decisiones en el futuro.

Es importante considerar también que, la Agencia Metropolitana de Tránsito (AMT) implementó el dispositivo “*50 km es la clave*”, este es un mecanismo preventivo de siniestralidad que se ejecuta antes, durante y después de la caída de lluvia; el personal operativo, en patrulleros y motos, avanza a una velocidad de 50 km/h sobre la avenida Simón Bolívar y de esta manera los ciudadanos se desplazan a la misma velocidad, de forma segura y se evitan embotellamientos, a causa de posibles siniestros de tránsito.

DISCUSIÓN.



- La ciudad de Quito está ubicada en toda su extensión en el valle interandino entre las cordilleras occidental y oriental de los Andes, lo que modifica el clima de la ciudad de Quito, ocasionando que las vías que la conectan se caractericen por una climatología muy particular, que inciden esencialmente en la probabilidad de ocurrencia de los accidentes de tránsito.
- Quito se destaca como una de las capitales sudamericanas con un alto índice de accidentes de tránsito, influenciado por factores diversos, entre los que se incluye el clima. La complejidad de las condiciones ambientales y urbanas puede contribuir a la alta incidencia de estos eventos, por lo que, en la presente investigación, se propuso la implementación de un sistema de alerta temprana hidrometeorológico y el desarrollo de un modelo predictivo como estrategias efectivas para la reducción de estos siniestros.
- El presente artículo toma como referencia el desarrollo de un modelo predictivo de accidentes de tránsito en la Autopista Central de Chile, el que se encuentra en una fase avanzada de desarrollo, este sistema tiene la capacidad de alertar a los conductores con hasta cinco minutos de antelación sobre zonas específicas donde se prevé un aumento en el riesgo de accidentes de tránsito. Respecto a las falencias del modelo, el Dr. Franco Basso, PhD., en la entrevista realizada, se refirió a las restricciones significativas en el tráfico y la movilidad en los años de pandemia del Covid 19, hubo un problema de flujos en el sistema por las condiciones inusuales y restricciones del tráfico, por lo que el modelo predictivo que ellos implementaron en Chile, empezó a reportar un nivel alto de tráfico erróneo, por lo que fue necesario recalibrar el mismo.
- De acuerdo con datos proporcionados por la Agencia Metropolitana de Tránsito (AMT), Agencia Nacional de Tránsito (ANT), Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), reflejados en los reportes y fichas técnicas nacionales de siniestralidad de tránsito, desde el año 2019 al 2023, se reportaron en la provincia de Pichincha un total de 19.999 siniestros de tránsito en las que el factor climático constituye el 4,4%. En la ciudad de Quito, representa aproximadamente el 10% del total registrado como causa principal; sin embargo, incide directamente e indirectamente en las otras causales registradas.
- Por lo expuesto, se analizaron las curvas obtenidas respecto a la distribución de la precipitación, humedad relativa, nubosidad normal multianual, en las seis estaciones meteorológicas ubicadas en diversos sectores de la ciudad de Quito, norte de la ciudad (Rumihurco-Condado, Parque Bicentenario-DAC Aeropuerto, Iñaquito). Nor Occidente de la provincia de Pichincha (Tomalón-Tabacundo), Sur (El Troje-Solanda, Izobamba-Cutuglagua), las que muestran un movimiento armónico complejo, con oscilaciones



periódicas durante los 12 meses del año, identificándose dos temporadas crecientes (época húmeda) y uno decreciente (época seca) de aproximadamente cuatro meses cada una.

- Debido a esto, fue posible determinar una relación de estacionalidad entre los factores climáticos (variable independiente) y la ocurrencia de los accidentes de tránsito (variable dependiente), estableciendo que los meses de mayor presencia de siniestralidad, se registraron en las dos temporadas húmedas, que correspondieron a los meses de marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre (los de mayor incidencia), enero y septiembre (con menor impacto) y en lo que respecta a la época seca, los meses de mayor siniestralidad tienen presencia en los meses de junio y agosto, conforme a la ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas analizadas.
- Por lo tanto, se puede determinar que, la relación de estacionalidad existente entre el factor clima, parámetros: precipitación, humedad relativa, nubosidad, es directamente proporcional a la ocurrencia de siniestros por accidentes de tránsito. En lo que se refiere a los parámetros relacionados con la temperatura y dirección del viento esta es mínima y no representativa.
- Con relación a la precipitación en el periodo de tiempo analizado en las estaciones meteorológicas seleccionadas, se obtuvo un índice de correlación promedio entre 0.6 a 0.8, el que determinó una relación lineal notable que puede ser útil para hacer predicciones o entender la relación entre las variables y en lo que respecta al coeficiente de determinación promedio se obtuvo un valor de R^2 entre 0,4 a 0,6, lo que sugiere una capacidad predictiva entre fuerte y moderada.
- En lo que se refiere a la humedad relativa los valores obtenidos relacionados con el índice de correlación y coeficiente de determinación, sugieren una relación lineal notable y una buena capacidad predictiva, ya que más de la mitad de la variación está siendo capturada por el modelo.
- El otro parámetro analizado de la nubosidad, se lo pudo efectuar únicamente en una estación meteorológica que disponía de dicha información, lo que limita el análisis; sin embargo, se obtuvo una correlación positiva moderada promedio entre las dos variables, y en lo que respecta al coeficiente de determinación promedio este tiene un ajuste relativamente bajo, por lo que, el modelo no explica bien la variabilidad de la variable dependiente; sin embargo para el año 2023, el modelo tiene un buen ajuste, por lo que en este caso, la variable independiente es bastante efectiva para predecir la variable dependiente.



- Respecto al índice de correlación y coeficiente de determinación registrado en los años 2020 y 2021, en lo que se refiere a la relación clima / tránsito, registran en general valores bajos, lo que puede explicarse por las alteraciones en los patrones de movilidad y el contexto social generado por el COVID-19, lo que alteró drásticamente los patrones de movilidad y conducta de los conductores en la ciudad.
- Con relación a los años 2019 y 2023 que, son los que registran las precipitaciones más altas, están asociados también a los eventos “*El Niño*”: periodo 2018-2019, considerado leve y periodo 2023-2024, considerado fuerte, son precisamente los que establecen los valores más altos del índice de correlación y coeficiente de determinación, lo que fortalece también la existencia de la relación clima-tránsito, planteada en esta investigación.
- En cuanto se refiere a las otras variables meteorológicas, temperatura media mensual y dirección del viento, el índice de correlación promedio estableció una correlación negativa moderada entre las dos variables, por lo que, esta relación no es extremadamente fuerte como para hacer predicciones precisas frente al número de accidentes de tránsito reportados, y en lo que se refiere al coeficiente de determinación promedio obtenido el modelo no explico bien la variabilidad de la variable dependiente.
- Los resultados avalan que en las estaciones meteorológicas de El Troje (sector Solanda), Ñaquito (sector Ñaquito) y Rumihurco (sector Condado), son las que presentan los valores más altos en lo que se refieren a los índices de correlación y coeficientes de determinación, lo que significa que el modelo tiene un buen ajuste y que las variables independientes son bastante efectivas para predecir las variables dependientes.
- En consecuencia, el modelo predictivo con la inclusión de factores climáticos como la lluvia, la humedad relativa y la visibilidad, permitiría a los modelos a ser implementados, ser más precisos y adaptativos a las condiciones cambiantes del entorno, para la predicción de accidentes de tránsito, al influir en el comportamiento de los conductores, lo que subraya la complejidad de los factores que contribuyen a la seguridad vial en las carreteras urbanas.
- Debido a esto, la implementación del Sistema de Alerta Temprana para reducir los accidentes de tránsito en la ciudad de Quito, contempla los siguientes componentes:
 - Conocimiento del Riesgo: determinación de un área piloto para su implementación que, en este caso se propone la Av. Simón Bolívar, al ser la más monitoreada y que cuenta con datos relacionados con tráfico, clima, infraestructura, seguridad vial.
 - Monitoreo y Alerta: monitoreo, detección en tiempo real, análisis predictivo y patrones de riesgo.
 - Difusión y comunicación: avisos, alertas y pronósticos.



- Capacidad de Respuesta: capacitación, evaluación y retroalimentación
- La inclusión de los datos desagregados (por vehículo) anteriormente analizados y factores climáticos en tiempo real como, la lluvia, la humedad relativa y la visibilidad, permitiría a los modelos predictivos a ser implementados, ser más precisos y adaptativos a las condiciones cambiantes del entorno, al influir en el comportamiento de los conductores, lo que subraya la complejidad de los factores que contribuyen a la seguridad vial en las carreteras urbanas.
- Por lo tanto, este enfoque permitirá implementar un sistema proactivo que no solo reacciona ante los accidentes, sino que también prevé y minimiza el riesgo de que estos ocurran, a través de un monitoreo constante, predicción de eventos y una respuesta eficaz.
- Finalmente, por todo lo expuesto, se comprueba la factibilidad de implementar el sistema de alerta temprana propuesto, el que se encargaría de proporcionar alertas a los conductores y a las autoridades de tráfico, esta herramienta ayudaría a prevenir los accidentes de tránsito antes de que ocurran y, por otro lado, el modelo predictivo permitiría a las autoridades anticipar y mitigar situaciones peligrosas de tráfico, ajustando la planificación y ejecución de políticas de seguridad vial en Quito. La combinación de estas dos estrategias no solo podría contribuir a la reducción de la mortalidad y morbilidad asociada a los accidentes de tránsito, sino que también fomentaría un entorno de conducción más seguro.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- La investigación es original, si bien, existen estudios con enfoques similares, la metodología y el contexto de este artículo son diferentes. Las bases de datos existentes presentan una falta de homogeneidad en los datos, y ciertos años carecen de información climática, lo que ha requerido un esfuerzo adicional para compilar y normalizar la información. Por último, se ha evidenciado una descoordinación entre las diferentes áreas municipales involucradas, por lo que la propuesta a más de incluir el requerimiento de una data específica, también promueve la capacitación y sensibilización de los actores locales sobre la gestión de riesgos.
- Fue posible demostrar la relación existente entre las variables accidentes de tránsito y clima, en lo que se refiere a los parámetros climáticos de precipitación, humedad relativa y nubosidad, determinándose una correlación positiva entre moderada y fuerte entre ellas, lo que ayudará a identificar la existencia de una relación lineal, lo que se complementará con



la influencia de factores estacionales en dicha relación, los que fueron demostrados en esta investigación.

- La Av. Simón Bolívar, es la vía más propicia para la implementación de un SAT que incorpore un modelo predictivo, criterio compartido por las autoridades del Distrito Metropolitano de Quito, conforme a la reunión mantenida con el autor el 13 de febrero de 2025, por cuanto cumple mayoritariamente con los parámetros requeridos para el óptimo funcionamiento del sistema.
- Es importante considerar que para una mejor sensibilización y precisión del modelo predictivo, es necesaria la incorporación de nuevas estaciones meteorológicas con información en tiempo real, que puedan incidir en la vía de estudio, por lo que se mencionan las estaciones de El Troje (incorporada en esta investigación y que involucra el área que se sugiere para el proyecto piloto) y otras como: Puengasi y Bellavista, junto a las otras estaciones analizadas en esta investigación, lo que se complementaría con la instalación de pluviómetros en las zonas de mayor ocurrencia de los accidentes de tránsito anteriormente mencionados
- En consecuencia, la incorporación de datos desagregados en tiempo real en el modelo predictivo como: tráfico, características de la carretera, comportamiento del conductor, entre otros, podría fortalecerse con una de las iniciativas programadas en la ciudad para el año 2025 que, consiste en la denominada “*Tercera Placa*”, dispositivo electrónico de identificación vehicular (DEIV), que podría particularizar la data por vehículo que circule en el D.M.Q.
- Debido a esto, para mejorar la predicción del modelo es importante también considerar el formular un modelo de gestión, que establezca principalmente, como automatizar las alertas, determinar puntos de monitoreo climático, automatizar la alerta y los umbrales respectivos, así como también, incorporar nuevos indicadores como la señalética en cada punto identificado y fortalecer la capacidad de respuesta ante la presencia de algún siniestro.
- En este sentido, se considera fundamental la participación de los actores locales, quienes pueden proporcionar información valiosa sobre las condiciones de la carretera y el comportamiento del tráfico, el modelo enfrenta desafíos, como la variabilidad en los datos y la necesidad de mantener la actualización constante de la información para asegurar su efectividad. La colaboración entre las autoridades municipales y los desarrolladores del modelo es crucial para asegurar que las alertas sean relevantes y efectivas.



BIBLIOGRAFÍA

Alvear Rogge, Adolfo (1996). *Estadísticas y consecuencias económicas causadas por los accidentes de tránsito en el Ecuador*. XXIII Curso Superior de Seguridad Nacional para el Desarrollo. Quito: IAEN. 132 p.

Caín Guambo, V. E. (2021). *Implementación de un sistema de alerta para la prevención de accidentes mediante reconocimiento de señales de tránsito y visión artificial*. Trabajo de titulación, Universidad Nacional de Chimborazo.

Basso, F., Basso, L. J., Bravo, F., & Pezoa, R. (2018). *Real-time crash prediction in an urban expressway using disaggregated data*. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 86, 202-219. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.11.014>

Becker, A., Rust, H., & Ulbrich, U. (2022). *Weather impacts on various types of road crashes: a quantitative analysis using generalized additive models*. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 86, 107-123. <https://doi.org/10.1186/s12544-022-00561-2>

Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de Naciones Unidas –UNISDR. (2016) *Indicadores y terminología relacionados con la reducción del riesgo de desastres*, Asamblea General, Naciones Unidas, Ginebra, Suiza.

Fajardo Rodríguez, Ontaneda Rosales, (2020). *Determinación del índice de transición que influye en la definición de la época seca y húmeda en la zona de la ciudad del conocimiento Yachay, Urcuquí, Imbabura, Ecuador*, AMBIENS, Revista Iberoamericana universitaria en ambiente, sociedad y sustentabilidad ISSN 2346-9269, Volumen 2, No. 4, pág. 52-67.

Flores Méndez, C. A., Mora Flores, P. A., & Fajardo Rodríguez, C. J. (2022). *Determinación del índice de accidentes de tránsito, en función de las variables transporte, clima, tiempo; eje vial E-28 B, Provincia de pichincha, Ecuador*. *Centro Sur*, 6(4). <https://doi.org/10.37955/cs.v6i4.291>.

Guaranga Broncano, Edwin Xavier. (2020). *Diseño e implementación de un dispositivo de alerta temprana utilizando un sistema de comunicaciones inalámbrica y móvil para prevenir accidentes de tránsito*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.

Ibáñez, J. (2002). *Del algoritmo al sujeto: perspectivas de la investigación social*. Siglo XXI de España Editores.



NETGRAFIA

Información técnica base de datos utilizadas como referencia.

Agencia Nacional de Tránsito. *Ficha Técnica de Reportes Nacionales de Siniestralidad de Tránsito*. Recuperado de <https://www.ant.gob.ec/estadisticas-siniestros-de-transito/>

Agencia Metropolitana de Transito - AMT, *Quito Data Vial*, 2024

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiOWZkYTdmMzltYzJmZi00MzBjLWFlYzctZDUyMDYxYTUwOTMwIiwidCI6ImMxNTUzNDRLWNkMzEtNDhmMS05MzgZLWM1Yzc0YTZjOWI5ZCIsImMiOiR9&embedImagePlaceholder=true&pageName=f8b1c4cfe8e421c40510>

FONAG - EPMAPS. (2019). *Anuario Hidrometeorológico 2019*. Quito, Ecuador, <https://www.fonag.org.ec/web/wp-content/uploads/2024/06/Anuario-hidroclimatico-2019.pdf>.

FONAG - EPMAPS. (2020). *Anuario Hidrometeorológico 2020*. Quito, Ecuador, <https://www.fonag.org.ec/web/wp-content/uploads/2024/06/Anuario-hidroclimatico-2020.pdf>.

FONAG - EPMAPS. (2021). *Anuario Hidrometeorológico 2021*. Quito, Ecuador, https://www.aguaquito.gob.ec/Alojamientos/Anuario-2021_Final.pdf.

FONAG - EPMAPS. (2022). *Anuario Hidrometeorológico 2022*. Quito, Ecuador, <https://www.aguaquito.gob.ec/Alojamientos/ANUARIOS%20HIDRL%C3%93GICOS-FONAG/Anuario%202022.pdf>.

FONAG - EPMAPS. (2023). *Anuario Hidrometeorológico 2023*. Quito, Ecuador, <https://www.fonag.org.ec/web/anuario-hidroclimatico/>.

INEC, <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-siniestros-de-transito/>

Weather and Climate, https://www.weatherandclimate.eu/sp/history/84072_2

Información complementaria

Cabrera Prieto, J. I. (2012). *Análisis de las fallas más comunes en el funcionamiento del automotor*. From <file:///C:/Users/PJ%20MACHALA/Downloads/UPS-CT002306-desbloqueado.pdf>.



CEPAL. (2010). *La seguridad vial en la región de América Latina y el Caribe: situación actual y desafíos*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/2010/la-seguridad-vial-en-la-region-america-latina-y-el-caribe-situacion-actual-y-desafios>

El Comercio (2023), “*En Quito, la conducción en lluvia es la quinta causa de siniestros de tránsito*”, <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/siniestros-transito-primer-trimestre-2023.html>.

Organización Mundial de la Salud. (2021). *Plan mundial para el decenio de acción para la seguridad vial 2021-2030*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240061234>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2022). *Informe sobre desarrollo humano 2021/2022*. <https://www.pnud.org>

Sistema Metropolitano de Información, Municipio de Quito, <https://gobiernoabierto.quito.gob.ec/smi/#:~:text=El%20Sistema%20Metropolitano%20de%20Informaci%C3%B3n,de%20su%20portal%20web%20y>



ANEXOS

INFORMACIÓN TÉCNICA



ANEXO 1

DETERMINACIÓN DE LA ESTACIONALIDAD CON DATOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN, HUMEDAD RELATIVA, NUBOSIDAD Y TEMPERATURA EN LA CIUDAD DE QUITO

En el artículo indexado, “Determinación del índice de transición que influye en la definición de la época seca y húmeda en la zona de la ciudad del conocimiento Yachay, Urcuquí, Imbabura, Ecuador” (Fajardo-Rodríguez & Ontaneda-Rosales, 2020), en lo que respecta a tiempo y clima, en el Ecuador, sostiene que: *“los periodos considerados como época húmeda, ocurren dos veces al año, el de mayor intensidad entre los meses de febrero, marzo, abril y mayo, siendo abril el de más intensidad; el otro ocurre entre los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero, siendo noviembre el de mayor intensidad. El mes de septiembre sería considerado de transición entre la época seca y húmeda de la zona del estudio, y la precipitación de este mes corresponde prácticamente a la mitad de lo que precipitará en el mes de octubre”*.

Se aplicó este análisis para el área de estudio, y se identificaron las siguientes variables meteorológicas: precipitación, temperatura, humedad relativa, nubosidad; de varios periodos de tiempo disponibles, conforme al siguiente detalle:

Tabla 11
Estaciones meteorológicas: variables, temporalidad y ubicación.

Estaciones	Precipitación	Humedad relativa	Nubosidad	Temperatura	Incidencia sector ciudad Quito.	Entidad generadora información (*)
Iñaquito	1990-2023	1990-2019	-	1990-2019	Iñaquito	INAMHI
Tomalón	1990-2023	1990-2019	-	1990-2023	Tabacundo	INAMHI
Izobamba	1990-2023	1990-2019	1990-2007	1990-2023	Cutuglagua	INAMHI
Aeropuerto	1891-1982	-	-	1981-2020	Parque Bicentenario	DAC

Fuente: elaboración propia.

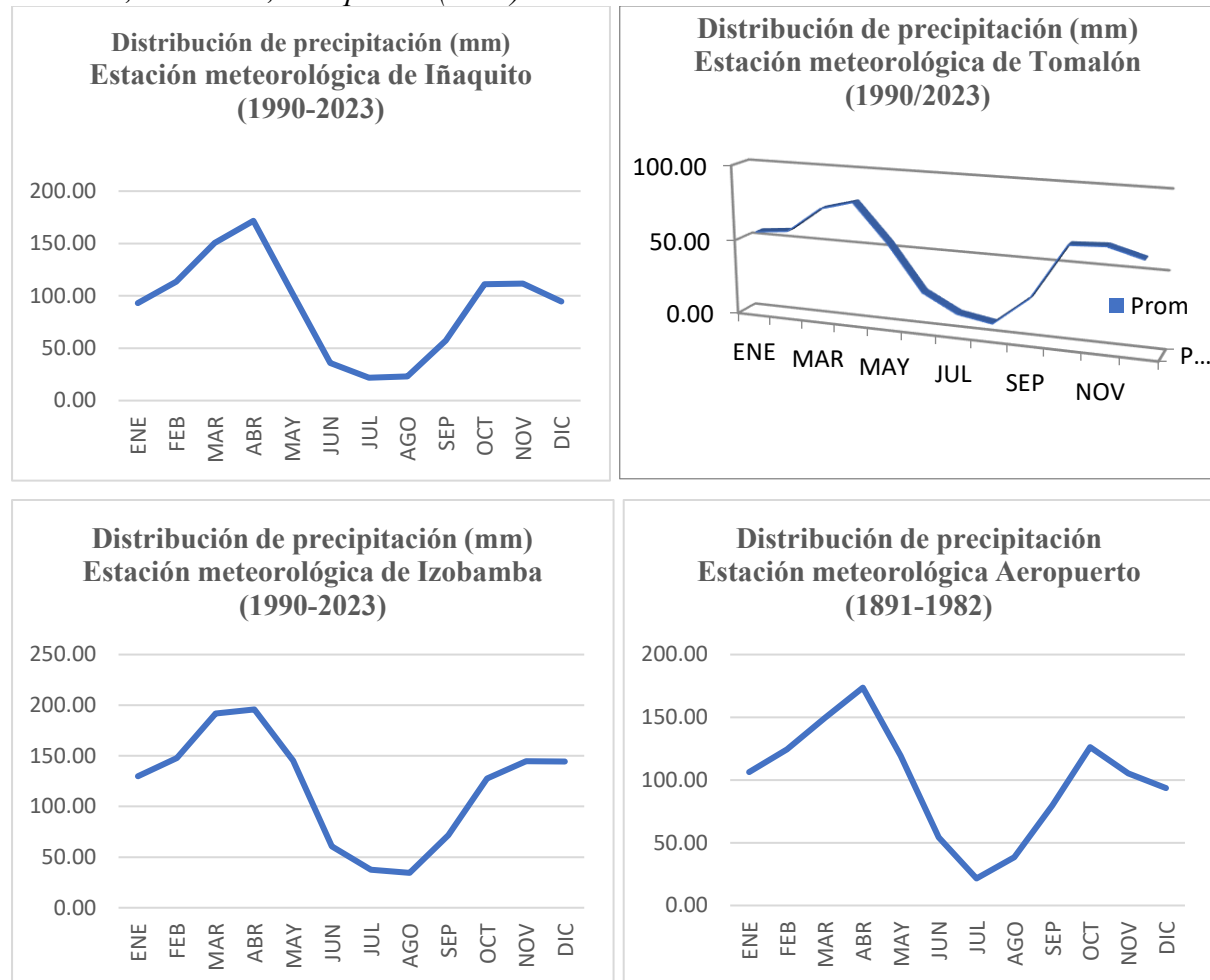
Se procedió al análisis estadístico, procesamiento y depuración de los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas de: Iñaquito, Tomalón, Izobamba y la estación meteorológica Aeropuerto de la Dirección de Aviación Civil (DAC), la que se encontraba ubicada en el anterior aeropuerto Mariscal Sucre, actualmente Parque Bicentenario, cuyos datos disponibles



están en el periodo 1891-1982, constituyéndose en una de las estaciones más antiguas del país, cuya finalidad fue establecer la tendencias que determinan la transición entre temporada seca y húmeda en la ciudad de Quito.

Gráfico 12

Curvas de distribución precipitación media mensual, estaciones meteorológicas de Iñaquito, Tomalón, Izobamba, Aeropuerto (DAC).

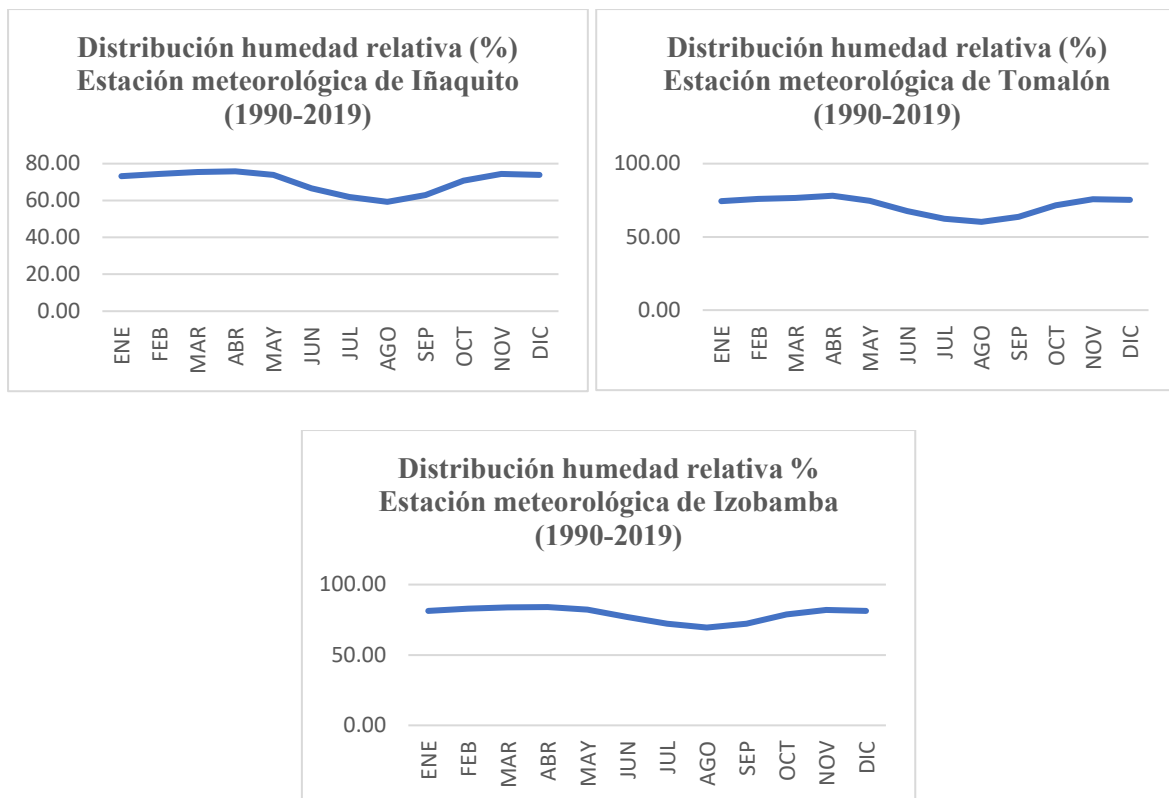


Fuente: Elaboración propia

A continuación, se procedió al análisis estadístico, procesamiento y depuración de los datos de humedad relativa de las estaciones meteorológicas de: Iñaquito, Tomalón, Izobamba, con los datos disponibles en el periodo 1990-2019, para establecer las tendencias que determinan la transición entre temporada seca y húmeda en la ciudad de Quito.

Gráfico 13

Curvas de distribución humedad relativa, estaciones meteorológicas de Iñaquito, Tomalón, Izobamba.

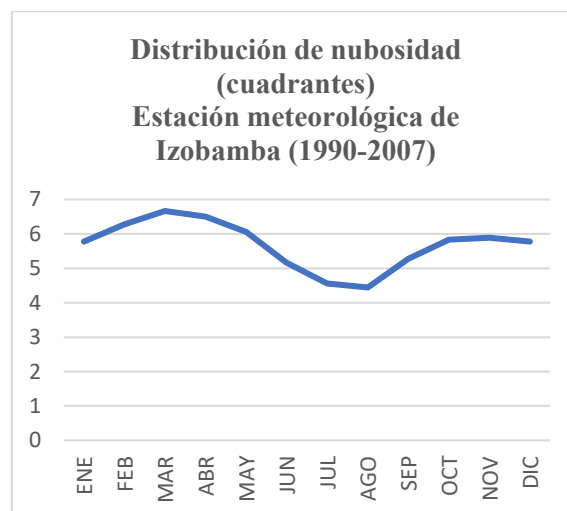


Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se procedió al análisis estadístico, procesamiento y depuración de los datos de nubosidad de la estación meteorológica de Izobamba, en este caso la unidad de medición es por octavos (n/8), con los datos disponibles en el periodo 1990-2007, para establecer las tendencias que determinan la transición entre temporada seca y húmeda en la ciudad de Quito.

Gráfico 14

Curva de distribución nubosidad, estación meteorológica de Izobamba.



Fuente: Elaboración propia

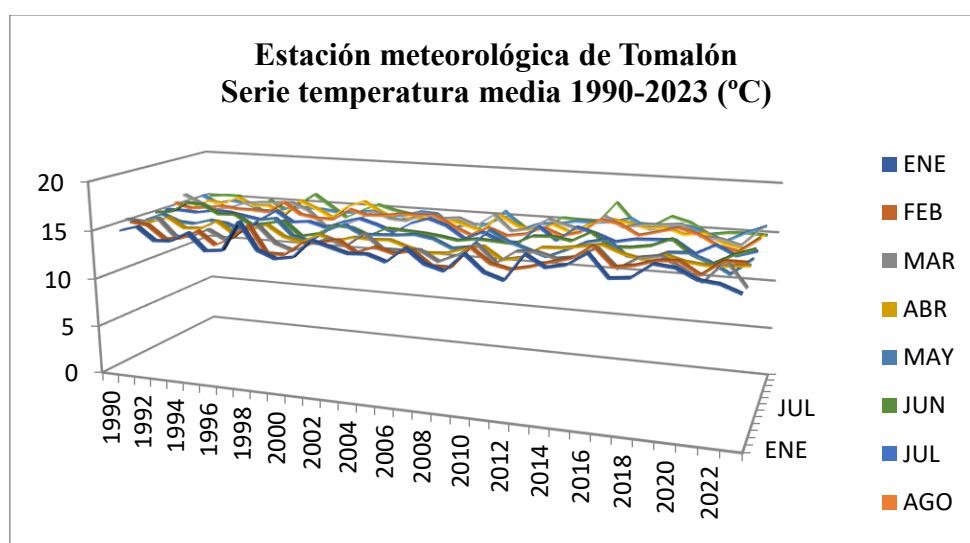
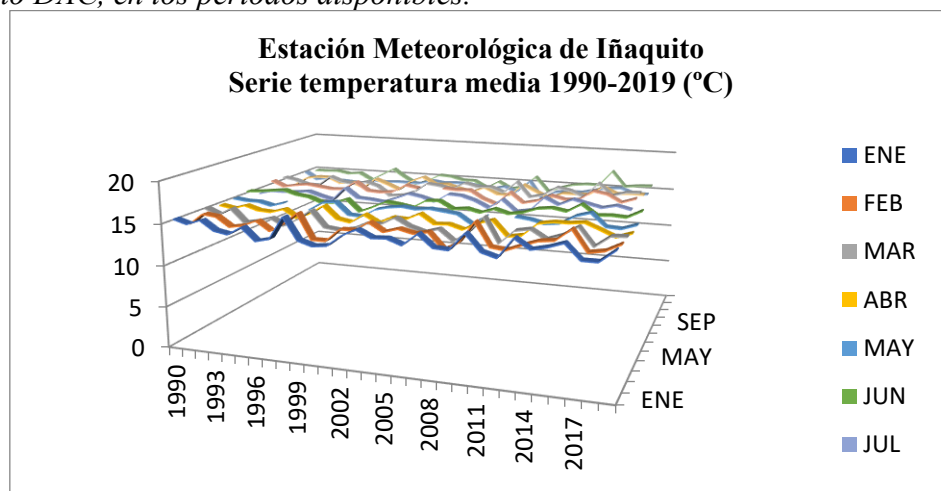


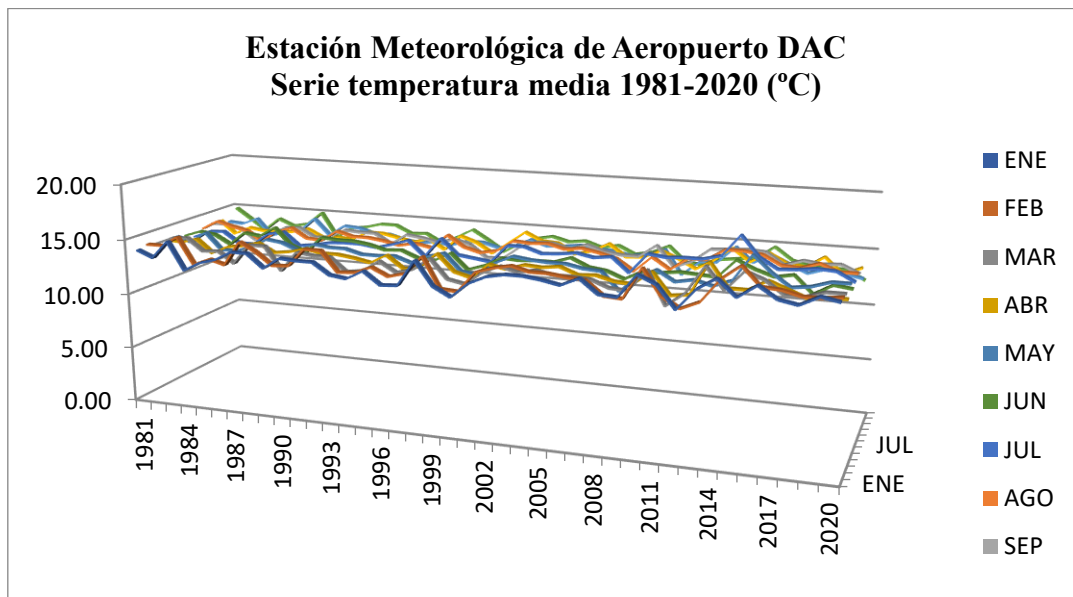
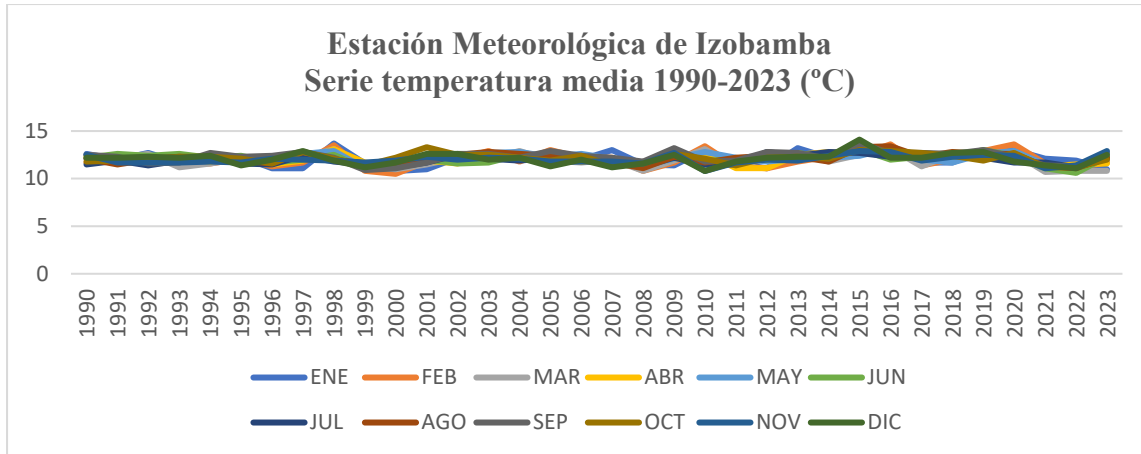
De lo expuesto, en los tres parámetros analizados: precipitación, humedad relativa y nubosidad, se pudo apreciar una tendencia homogénea y un comportamiento armónico complejo, determinándose las dos temporadas húmedas y una temporada seca características de la región de análisis, con un desfase entre los meses de enero y febrero; donde se determinó que los valores más bajos de la curva correspondieron a la temporada seca.

En lo que respecta a la última variable temperatura, se realizó el análisis serial de la temperatura media en los periodos disponibles de las estaciones meteorológicas de: Iñaquito, Tomalón, Izobamba y la estación meteorológica Aeropuerto de la Dirección de Aviación Civil (DAC), con los datos disponibles hasta el año 2023.

Gráfico 15

Serie temperatura media estación meteorológicas de Iñaquito, Tomalón, Izobamba y Aeropuerto DAC, en los periodos disponibles.





Fuente: Elaboración propia

En consecuencia, este parámetro mantiene un intervalo bastante constante entre 3 a 5 grados centígrados, por lo que no determina mayor incidencia en las distribuciones anteriormente analizadas.

ANEXO 2

Accidentes de tránsito ocurridos dentro del periodo 2019-2023.

De acuerdo con datos proporcionados por la Agencia Nacional de Tránsito - ANT, Agencia Metropolitana de Tránsito - AMT, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - INEC, reflejados en los reportes y fichas técnicas nacionales de siniestralidad de tránsito, desde el año 2019 al 2023, se han reportado en la provincia de Pichincha un total de 19.999 siniestros de tránsito, por diversas causas, entre ellas se menciona al factor climático.



En la Tabla No.12, se describen los siniestros acontecidos a nivel nacional a consecuencia de factores climáticos, entre el periodo 2019 al 2023, distribuidos en forma mensual; pudiendo distinguirse que los valores más altos (color rojo) se presentan en las temporadas denominadas como húmedas, y con color azul se puede visualizar valores medios en los meses más intensos de la temporada seca.

Tabla 12
Siniestros de tránsito por mes a nivel nacional, a consecuencia de factores climáticos, periodo 2019-2023.

AÑO	TOTAL	MESES											
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2019	234	23	33	24	18	20	16	9	6	12	11	28	34
2020	207	14	20	0	9	9	14	16	13	17	14	39	42
2021	341	35	15	33	20	12	25	14	27	24	51	39	46
2022	274	28	44	18	24	19	26	22	9	6	38	18	22
2023	387	38	29	60	63	22	10	22	12	7	38	19	67
	1443	138	141	135	134	82	91	83	67	66	152	143	211

Nota: Elaboración propia, a partir de la información obtenida en la Ficha Técnica de Reportes Nacionales de Siniestralidad de Tránsito de la ANT (2019-2020) e INEC (2021-2023).

Además, como se indica en la Tabla 13, se describieron los siniestros acontecidos en la provincia de Pichincha, entre el periodo 2019 al 2023, distribuidos en varios factores como: embriaguez o droga; mal rebasamiento invadir carril; exceso velocidad; impericia e imprudencia del conductor; imprudencia del peatón; daños mecánicos; no respeta las señales de tránsito; factores climáticos; mal estado de la vía y otras causas; siendo, los factores climáticos representan el 4,4% del total registrado; sin embargo, es necesario considerar que los factores climáticos mayormente están incluidos directa e indirectamente en todos los factores.

Tabla 13
Siniestros de tránsito por diversos factores, provincia de Pichincha, periodo 2019-2023.

AÑO	TOTAL	CAUSA								
		Embriaguez o droga	Mal rebasamiento invadir carril	Exceso velocidad	Impericia e imprudencia del conductor	Imprudencia del peatón	Daños mecánicos	No respeta las señales de tránsito	Factores climáticos	Mal estado de la vía



2019	4.977	639	197	971	1.894	388	100	536	117	67	68
2020	3.266	405	114	754	913	119	106	455	145	65	190
2021	3.807	537	172	852	1.085	217	132	531	243	29	9
2022	3.793	460	177	1002	868	261	103	664	200	21	37
2023	4.156	460	166	1143	1.181	250	25	695	175	21	40
	19,999	2,501	826	4,722	5,941	1,235	466	2,881	880	203	344

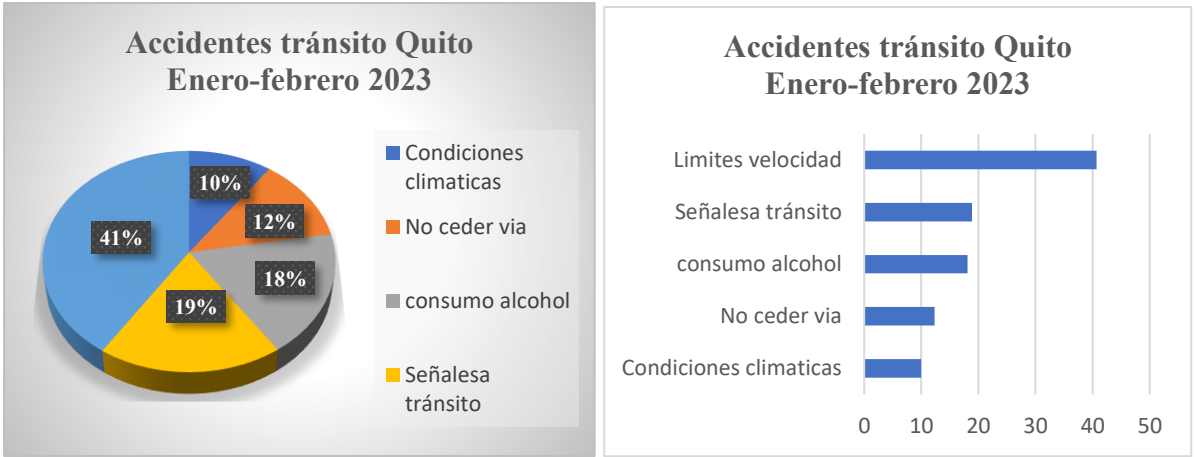
Nota: Elaboración propia, a partir de la información obtenida en la Ficha Técnica de Reportes Nacionales de Siniestralidad de Tránsito de la ANT para el periodo de estudio.

En la columna celeste puede apreciarse los accidentes de tránsito a consecuencia del factor clima.

Esto se relaciona también con información proporcionada por (El Comercio, 2023), por fuente de la Agencia Nacional de Transito que corresponde a los meses de enero y febrero del 2023 en la ciudad de Quito, en la que determinó, como causante en la ocurrencia de los accidentes de tránsito a las condiciones ambientales (niebla, neblina, granizo, lluvia), con un porcentaje de ocurrencia del 9,97%.

Gráfico 16

Causas de los siniestros de tránsito en la ciudad de Quito, enero y febrero de 2023.



Fuente: (El comercio, 2023).

Por información disponible en el Sistema Metropolitano de Información (SMI) referente a: número de siniestros ocurridos en el DMQ, incluidas varias causas, se pudo verificar que los niveles más altos de siniestralidad, se registraron en los meses que corresponden a la temporada húmeda; siendo, en la temporada seca, el mes de junio, el de mayor siniestralidad.



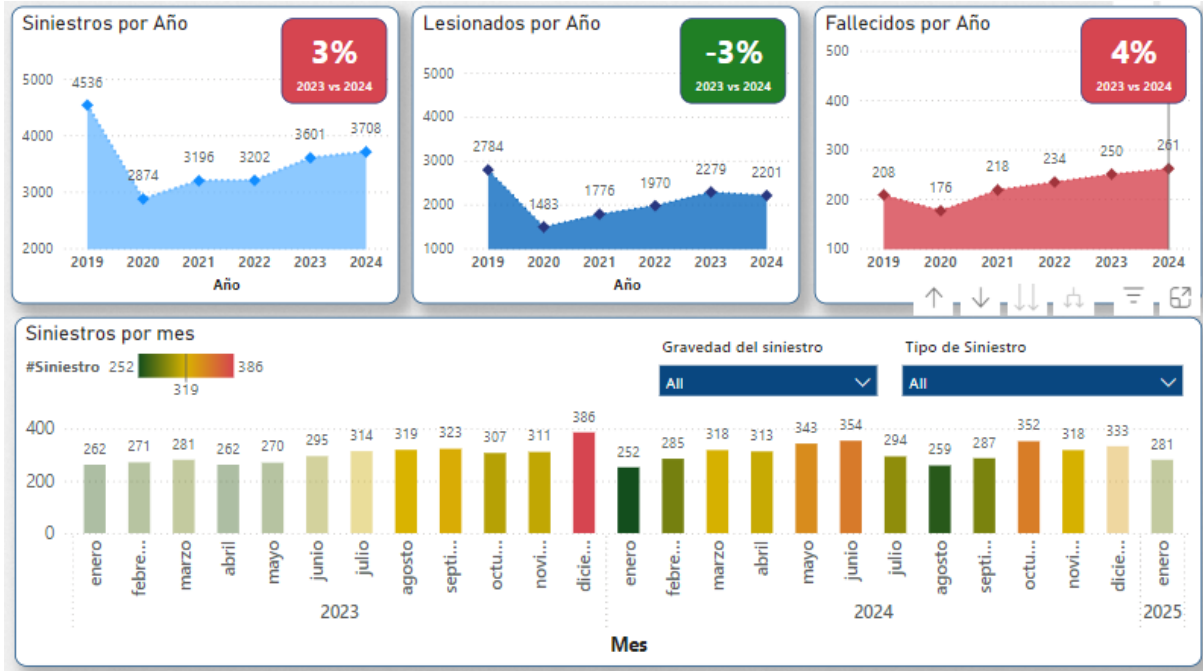
Tabla 14
Número de siniestros de tránsito ciudad de Quito por diversas causas, periodo 2019-2023.

AÑO	MESES												TOTAL
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	
2019	279	212	207	273	293	313	259	220	229	171	269	267	2992
2020	255	247	133	50	87	106	92	108	117	155	140	169	1659
2021	145	128	148	142	111	198	155	188	170	227	204	177	1993
2022	186	155	176	205	172	165	209	166	195	198	167	210	2204
2023	220	199	188	173	178	224	201	234	232	223	208	249	2529
	1085	941	852	843	841	1006	916	916	943	974	988	1072	

Elaboración propia, a partir de la información obtenida en la Agencia Metropolitana de Transito (AMT)

Por información obtenida en el repositorio Quito Vial (AMT, Quito Data Vial, 2024), fue posible obtener datos relacionados con accidentes de tránsito en el Distrito Metropolitano de Quito, en relación al número de siniestros, lesionados y fallecidos en el periodo 2019-2023, por número de siniestros de tránsito y datos mensuales de siniestros correspondiente a los años 2023, 2024 y enero 2025.

Gráfico 17
Accidentes de tránsito, ciudad Quito, periodo 2019 – 2023.



Fuente: AMT, Quito Data Vial, 2024



ANEXO 3

Relación variables clima y accidentes de tránsito

A partir de la información levantada, Anexo 1 y Anexo 2, se procedió a interrelacionar las variables meteorológicas disponibles de: precipitación, humedad relativa, nubosidad, velocidad del viento, temperatura, con el número de siniestros reportados en los últimos 5 años, periodo 2019 – 2023, en las estaciones meteorológicas que se describen en la tabla 15:

Tabla 15
Estaciones meteorológicas: variables, temporalidad y ubicación.

Estaciones	Precipitación	Humedad relativa	Nubosidad	Velocidad viento	Temperatura	Incidencia sector ciudad Quito.	Entidad generadora información (*)
Iñaquito	1990-2023	1990-2019	-	-	1990-2019	Iñaquito	INAMHI
Tomalón	1990-2023	1990-2019	-	-	1990-2023	Tabacundo	INAMHI
Izobamba	1990-2023	1990-2019	1990-2007	-	1990-2023	Cutuglagua	INAMHI
Aeropuerto	1891-1982	-	-	-	1891-2020	Parque bicentenario	DAC
Rumihurco	2019-2022	2020-2022	-	2020-2021	2020-2022	Condado	EPMAPS
El Troje	2019-2023	2020-2023	-	-	2020-2023	Turubamba	EPMAPS

Fuente: elaboración propia.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE IÑAQUITO.

Precipitación

En la tabla 16 se determinó la relación existente entre clima y siniestros de tránsito de forma mensual en los 5 años de estudio y en el grafico 18 que se describe a continuación, se pudo apreciar la cantidad de precipitación mensual correspondiente a los 5 últimos años (color verde), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al mismo periodo (color amarillo), con lo que fue posible establecer la relación existente entre el factor precipitación y la ocurrencia de siniestros por accidentes de tránsito, se estableció que los meses de mayor presencia de siniestralidad se registraron en las dos temporadas húmedas, que corresponde a los meses de marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre (los de mayor incidencia), enero y



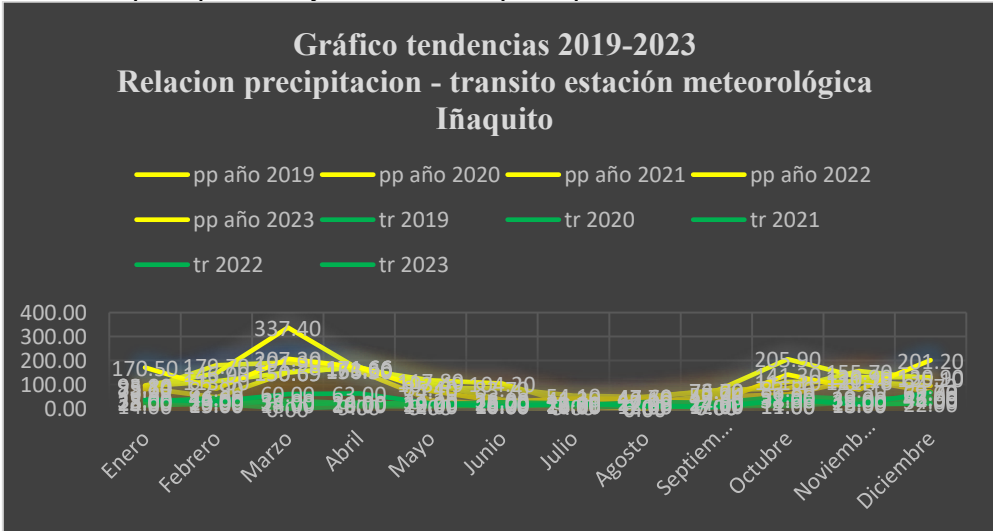
septiembre (con menor impacto) y en lo que respecta a la época seca, los meses de mayor siniestralidad son junio y agosto.

Tabla 16
Relación variable precipitación y tránsito, Iñaquito, periodo 2019-2023.

Meses	Precipitación					Transito				
	pp año 2019	pp año 2020	pp año 2021	pp año 2022	pp año 2023	tr 2019	tr 2020	tr 2021	tr 2022	tr 2023
Enero	78.60	85.70	95.80	93.14	170.50	23.00	14.00	35.00	28.00	38.00
Febrero	179.70	46.60	146.90	113.50	82.90	33.00	20.00	15.00	44.00	29.00
Marzo	191.90	150.69	337.40	150.69	207.30	24.00	0.00	33.00	18.00	60.00
Abril	156.50	171.66	163.20	171.66	171.66	18.00	9.00	20.00	24.00	63.00
Mayo	34.20	85.40	117.80	103.49	74.10	20.00	9.00	12.00	19.00	22.00
Junio	16.70	83.70	104.20	36.00	28.00	16.00	14.00	25.00	26.00	10.00
Julio	10.80	54.10	15.70	21.81	41.30	9.00	16.00	14.00	22.00	22.00
Agosto	0.00	47.70	47.60	22.98	40.10	6.00	13.00	27.00	9.00	12.00
Septiembre	49.90	76.00	73.70	57.34	27.50	12.00	17.00	24.00	6.00	7.00
Octubre	59.50	83.80	205.90	111.10	141.30	11.00	14.00	51.00	38.00	38.00
Noviembre	120.10	155.70	130.90	111.78	78.50	28.00	39.00	39.00	18.00	19.00
Diciembre	69.70	125.10	130.90	94.73	201.20	34.00	42.00	46.00	22.00	67.00

Nota: los valores en rojo corresponden a las medias del periodo de tiempo disponible.
Fuente: elaboración propia.

Gráfico 18
Relación variable precipitación y tránsito, Iñaquito, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia.

Humedad relativa

En la tabla 17 y gráfico 19 que se describen a continuación, se determinó el porcentaje de humedad relativa media mensual de la información disponible en el periodo 1990 – 2019,



(color amarillo), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al mismo periodo (diversos colores), con lo que fue posible establecer la relación existente entre el factor humedad relativa y la ocurrencia de siniestros por accidentes de tránsito, se estableció que los meses de mayor presencia de siniestralidad se registraron en las dos temporadas húmedas, y en lo que respecta a la época seca, los meses de mayor siniestralidad son junio y agosto.

Tabla 17

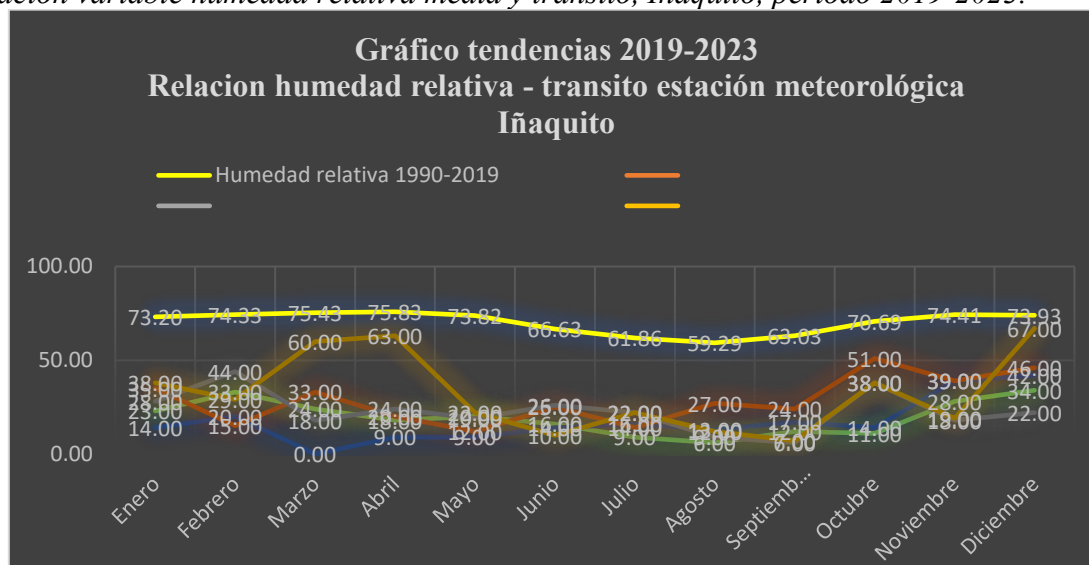
Relación variable humedad relativa media y tránsito, Iñaquito, periodo 2019-2023.

Meses	Media Humedad relativa		Transito			
	Humedad relativa 1990-2019	tr 2019	tr 2020	tr 2021	tr 2022	tr 2023
Enero	73.20	23.00	14.00	35.00	28.00	38.00
Febrero	74.33	33.00	20.00	15.00	44.00	29.00
Marzo	75.43	24.00	0.00	33.00	18.00	60.00
Abril	75.83	18.00	9.00	20.00	24.00	63.00
Mayo	73.82	20.00	9.00	12.00	19.00	22.00
Junio	66.63	16.00	14.00	25.00	26.00	10.00
Julio	61.86	9.00	16.00	14.00	22.00	22.00
Agosto	59.29	6.00	13.00	27.00	9.00	12.00
Septiembre	63.03	12.00	17.00	24.00	6.00	7.00
Octubre	70.69	11.00	14.00	51.00	38.00	38.00
Noviembre	74.41	28.00	39.00	39.00	18.00	19.00
Diciembre	73.93	34.00	42.00	46.00	22.00	67.00

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 19

Relación variable humedad relativa media y tránsito, Iñaquito, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia.

Temperatura



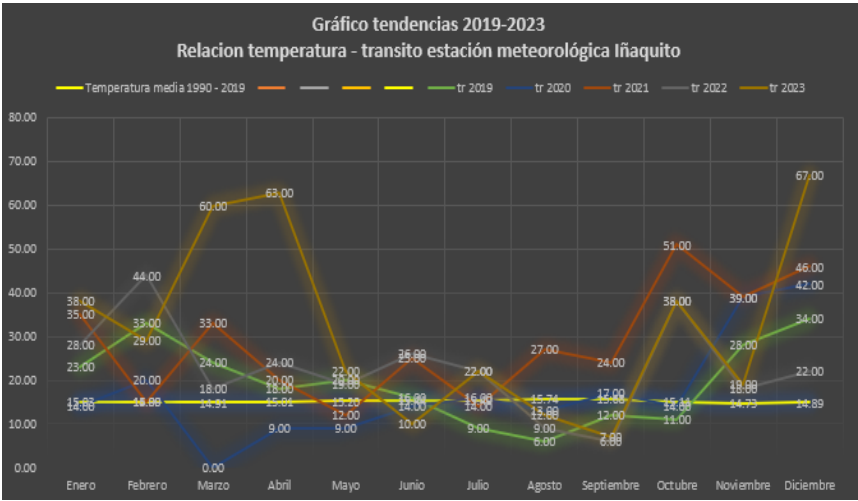
En la tabla 18 y gráfico 20 que se describen a continuación, se pudo apreciar la temperatura media mensual de la información disponible en el periodo 1990 – 2019, (color amarillo), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al mismo periodo (diversos colores), con lo que fue posible establecer que las medias de temperatura mensuales fluctúan entre 14,73 a 15,74 °C, por lo que, esta variable no tiene mayor incidencia con relación a la ocurrencia de siniestros por accidentes de tránsito.

Tabla 18
Relación variable temperatura media y tránsito, Iñaquito, periodo 2019-2023.

Meses	Temperatura	Transito				
	Temperatura media 1990 - 2019	tr 2019	tr 2020	tr 2021	tr 2022	tr 2023
Enero	15.03	23.00	14.00	35.00	28.00	38.00
Febrero	14.99	33.00	20.00	15.00	44.00	29.00
Marzo	14.91	24.00	0.00	33.00	18.00	60.00
Abril	15.01	18.00	9.00	20.00	24.00	63.00
Mayo	15.20	20.00	9.00	12.00	19.00	22.00
Junio	15.44	16.00	14.00	25.00	26.00	10.00
Julio	15.40	9.00	16.00	14.00	22.00	22.00
Agosto	15.74	6.00	13.00	27.00	9.00	12.00
Septiembre	15.68	12.00	17.00	24.00	6.00	7.00
Octubre	15.11	11.00	14.00	51.00	38.00	38.00
Noviembre	14.73	28.00	39.00	39.00	18.00	19.00
Diciembre	14.89	34.00	42.00	46.00	22.00	67.00

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 20
Relación variable temperatura media y tránsito, Iñaquito, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE TOMALÓN.



Precipitación

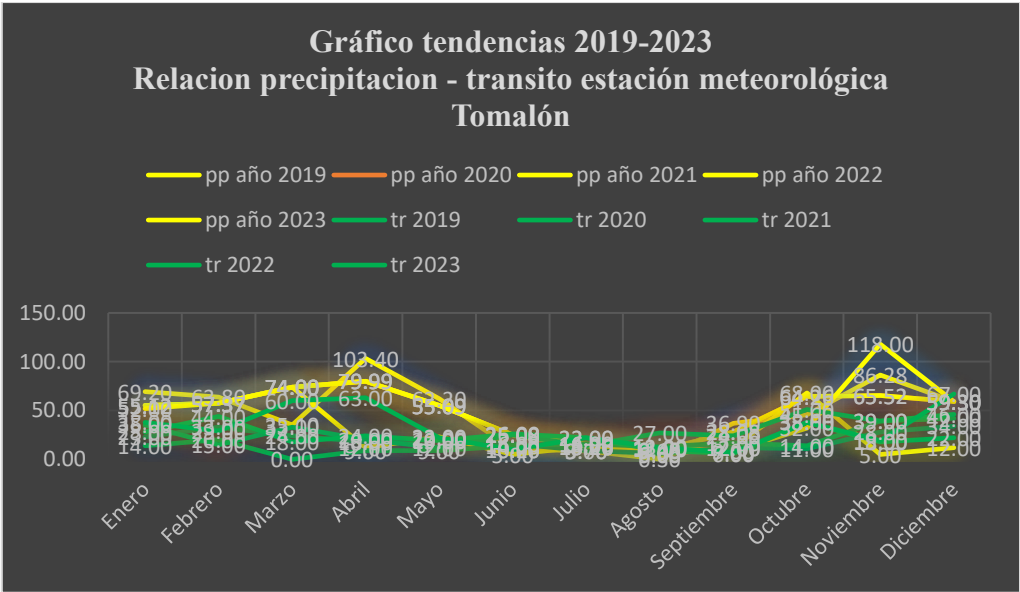
En la tabla 19 y grafico 21 que se describen a continuación, se pudo apreciar la cantidad de precipitación mensual correspondiente a los 5 últimos años (color verde gráfico), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al mismo periodo (color amarillo gráfico), fue posible establecer la relación existente entre el factor precipitación y los siniestros por accidentes de tránsito, se estableció que los meses de mayor presencia de siniestralidad se registran en las dos temporadas húmedas, que corresponde a los meses de marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre (los de mayor incidencia), enero septiembre (con menor impacto) y en lo que respecta a la época seca, los meses de mayor siniestralidad son julio y agosto.

Tabla 19
Relación variable precipitación y tránsito, Tomalón, periodo 2019-2023.

Meses	Precipitación					Transito				
	pp año 2019	pp año 2020	pp año 2021	pp año 2022	pp año 2023	tr 2019	tr 2020	tr 2021	tr 2022	tr 2023
Enero	69.20	55.12	55.12	55.12	52.00	23.00	14.00	35.00	28.00	38.00
Febrero	63.80	57.37	57.37	57.37	57.37	33.00	20.00	15.00	44.00	29.00
Marzo	35.10	74.00	74.00	74.00	74.00	24.00	0.00	33.00	18.00	60.00
Abril	103.40	79.99	79.99	79.99	12.00	18.00	9.00	20.00	24.00	63.00
Mayo	62.20	55.09	55.09	55.09	23.00	20.00	9.00	12.00	19.00	22.00
Junio	10.20	25.08	25.08	25.08	5.00	16.00	14.00	25.00	26.00	10.00
Julio	8.70	13.26	13.26	16.00	13.26	9.00	16.00	14.00	22.00	22.00
Agosto	0.30	9.48	9.48	5.00	11.00	6.00	13.00	27.00	9.00	12.00
Septiembre	36.90	28.08	28.08	12.00	9.00	12.00	17.00	24.00	6.00	7.00
Octubre	45.60	64.26	64.26	68.00	32.00	11.00	14.00	51.00	38.00	38.00
Noviembre	86.28	65.52	65.52	5.00	118.00	28.00	39.00	39.00	18.00	19.00
Diciembre	59.30	59.30	59.30	12.00	59.30	34.00	42.00	46.00	22.00	67.00

Nota: los valores en rojo corresponden a las medias del periodo de tiempo disponible
Fuente: elaboración propia.

Gráfico 21
Relación variable precipitación y tránsito, Tomalón, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia.

Humedad relativa

En la tabla 20 y gráfico 22 que se describen a continuación, se pudo apreciar el porcentaje de humedad relativa media mensual de la información disponible en el periodo 1990 – 2019, (color amarillo), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al mismo periodo (diversos colores), con lo que fue posible establecer la relación existente entre el factor humedad relativa y la ocurrencia de siniestros por accidentes de tránsito, se estableció que los meses de mayor presencia de siniestralidad se registran en las dos temporadas húmedas, y en lo que respecta a la época seca, los meses de mayor siniestralidad son junio y agosto.

Tabla 20
Relación variable humedad relativa media y tránsito Tomalón, periodo 2019-2023.

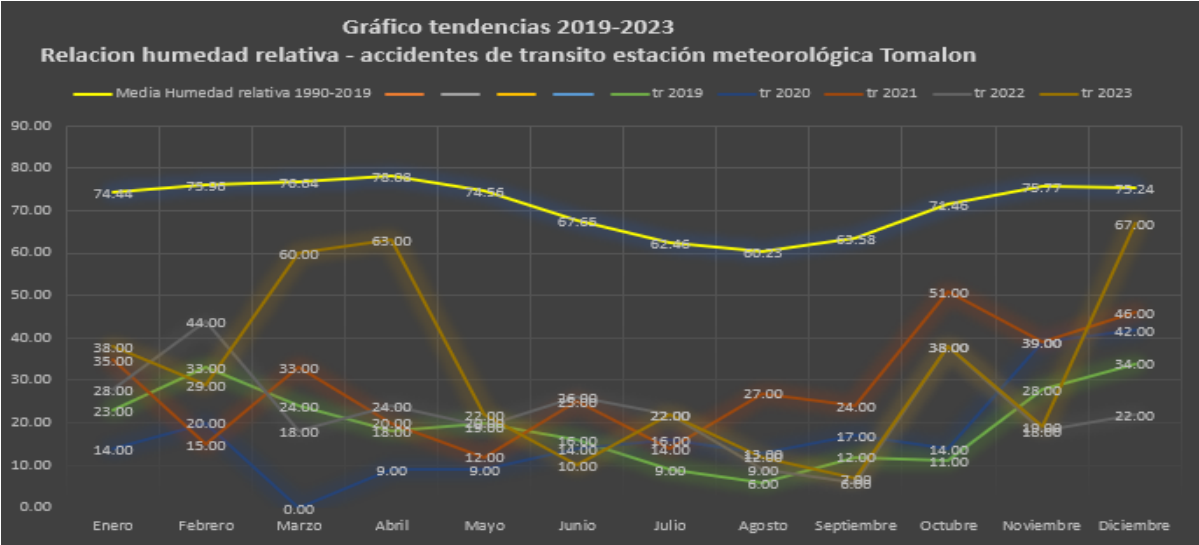
Meses	Humedad relativa		Transito			
	Media Humedad relativa 1990-2019	tr 2019	tr 2020	tr 2021	tr 2022	tr 2023
Enero	74.44	23.00	14.00	35.00	28.00	38.00
Febrero	75.96	33.00	20.00	15.00	44.00	29.00
Marzo	76.64	24.00	0.00	33.00	18.00	60.00
Abril	78.08	18.00	9.00	20.00	24.00	63.00
Mayo	74.56	20.00	9.00	12.00	19.00	22.00
Junio	67.65	16.00	14.00	25.00	26.00	10.00
Julio	62.46	9.00	16.00	14.00	22.00	22.00
Agosto	60.23	6.00	13.00	27.00	9.00	12.00
Septiembre	63.58	12.00	17.00	24.00	6.00	7.00
Octubre	71.46	11.00	14.00	51.00	38.00	38.00
Noviembre	75.77	28.00	39.00	39.00	18.00	19.00
Diciembre	75.24	34.00	42.00	46.00	22.00	67.00

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 22



Relación variable humedad relativa media y tránsito, Tomalón, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia

Temperatura

En la tabla 21 y gráfico 22 que se describen a continuación, se pudo apreciar la temperatura media mensual de la información disponible en el periodo 1990 – 2019, (color amarillo), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al mismo periodo (diversos colores), con lo que fue posible establecer que las medias de temperatura mensuales fluctúan entre 13,90 a 16,70 °C (registrado año 2023, el más calidat del periodo de análisis), sin embargo, esta variable no tiene mayor incidencia con relación a los accidentes de tránsito.

Tabla 21
Relación variable temperatura y tránsito, Tomalón, periodo 2019-2023.

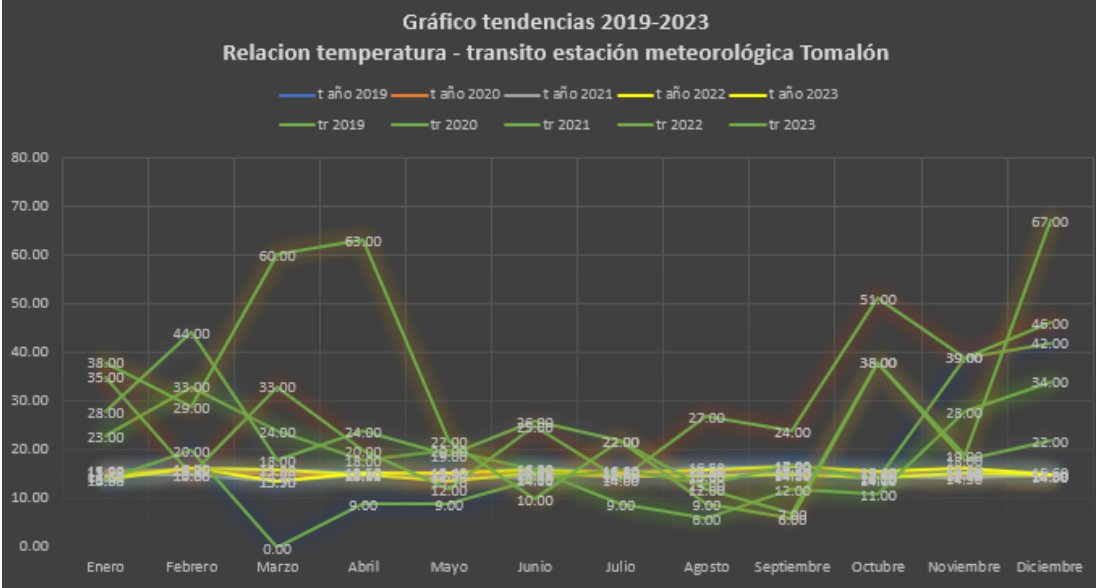
Meses	Temperatura					Transito				
	2019	2020	2021	2022	2023	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	15.90	15.70	14.80	14.60	13.90	23.00	14.00	35.00	28.00	38.00
Febrero	15.80	15.90	14.80	16.20	16.20	33.00	20.00	15.00	44.00	29.00
Marzo	15.80	14.80	13.70	15.80	13.50	24.00	0.00	33.00	18.00	60.00
Abril	15.50	15.00	14.80	14.90	15.10	18.00	9.00	20.00	24.00	63.00
Mayo	15.30	15.40	14.70	13.70	15.30	20.00	9.00	12.00	19.00	22.00
Junio	16.20	14.80	14.10	15.11	15.80	16.00	14.00	25.00	26.00	10.00
Julio	15.70	14.50	15.50	14.60	15.20	9.00	16.00	14.00	22.00	22.00
Agosto	16.50	16.00	15.00	14.60	16.00	6.00	13.00	27.00	9.00	12.00
Septiembre	16.50	15.40	15.30	14.80	16.70	12.00	17.00	24.00	6.00	7.00
Octubre	15.10	15.40	14.50	14.10	15.60	11.00	14.00	51.00	38.00	38.00
Noviembre	15.60	15.00	14.30	15.30	16.10	28.00	39.00	39.00	18.00	19.00
Diciembre	15.60	14.50	14.80	14.90	14.80	34.00	42.00	46.00	22.00	67.00

Nota: los valores en rojo corresponden a las medias del periodo de tiempo disponible
Fuente: elaboración propia.

Gráfico 23



Relación variable temperatura y tránsito, Tomalón, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE IZOBAMBA.

Precipitación

En la tabla 22 y grafico 24 que se describen a continuación, se pudo apreciar la cantidad de precipitación mensual correspondiente a los 5 últimos años (color verde), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al mismo periodo (color amarillo), con lo que fue posible establecer la relación existente entre el factor precipitación y la ocurrencia de siniestros por accidentes de tránsito, se estableció que los meses de mayor presencia de siniestralidad se registraron en las dos temporadas húmedas, que corresponde a los meses de marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre (los de mayor incidencia), enero septiembre (con menor impacto) y en lo que respecta a la época seca, los meses de mayor siniestralidad son junio, julio y agosto.

Tabla 22
Relación variable precipitación y tránsito, Izobamba, periodo 2019-2023.

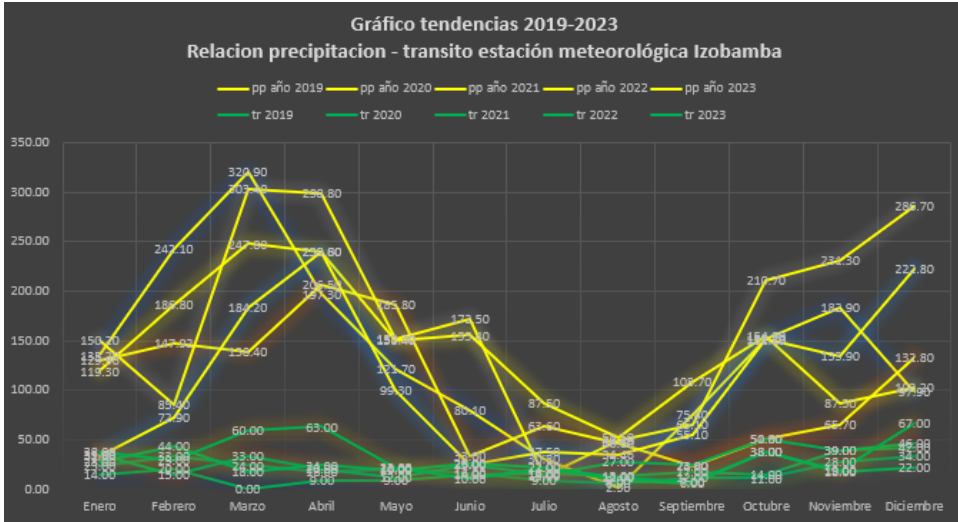
Meses	Precipitación					Transito				
	2019	2020	2021	2022	2023	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	135.20	129.96	150.20	119.30	32.80	23.00	14.00	35.00	28.00	38.00
Febrero	242.10	147.92	85.40	186.80	72.90	33.00	20.00	15.00	44.00	29.00
Marzo	320.90	138.40	303.40	247.80	184.20	24.00	0.00	33.00	18.00	60.00
Abril	197.30	206.50	298.80	239.60	239.80	18.00	9.00	20.00	24.00	63.00
Mayo	121.70	185.80	152.30	150.40	99.30	20.00	9.00	12.00	19.00	22.00
Junio	80.10	33.60	172.50	155.40	25.00	16.00	14.00	25.00	26.00	10.00
Julio	30.80	63.60	13.00	87.50	37.58	9.00	16.00	14.00	22.00	22.00
Agosto	2.30	46.60	49.40	51.50	34.46	6.00	13.00	27.00	9.00	12.00



Septiembre	75.40	23.80	65.10	108.70	55.10	12.00	17.00	24.00	6.00	7.00
Octubre	151.10	50.80	210.70	154.90	152.20	11.00	14.00	51.00	38.00	38.00
Noviembre	182.90	65.70	231.30	87.30	133.90	28.00	39.00	39.00	18.00	19.00
Diciembre	97.90	132.80	286.70	103.20	222.80	34.00	42.00	46.00	22.00	67.00

Nota: los valores en rojo corresponden a las medias del periodo de tiempo disponible
Fuente: elaboración propia.

Gráfico 24
Relación variable precipitación y tránsito, Izobamba, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia.
Humedad relativa

En la tabla 23 y gráfico 25 que se describen a continuación, se pudo apreciar el porcentaje de humedad relativa media mensual de la información disponible en el periodo 1990 – 2019, (color amarillo), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al mismo periodo (diversos colores), con lo que fue posible establecer la relación existente entre el factor humedad relativa y la ocurrencia de siniestros por accidentes de tránsito, se estableció que los meses de mayor presencia de siniestralidad se registraron en las dos temporadas húmedas, y en lo que respecta a la época seca, los meses de mayor siniestralidad son junio y agosto.

Tabla 23
Relación variable humedad relativa media y tránsito Izobamba, periodo 2019-2023.

Meses	Media Humedad relativa	Transito				
	1990-2019	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	81.23	23.00	14.00	35.00	28.00	38.00
Febrero	82.97	33.00	20.00	15.00	44.00	29.00
Marzo	83.77	24.00	0.00	33.00	18.00	60.00
Abril	84.03	18.00	9.00	20.00	24.00	63.00
Mayo	82.20	20.00	9.00	12.00	19.00	22.00
Junio	76.90	16.00	14.00	25.00	26.00	10.00

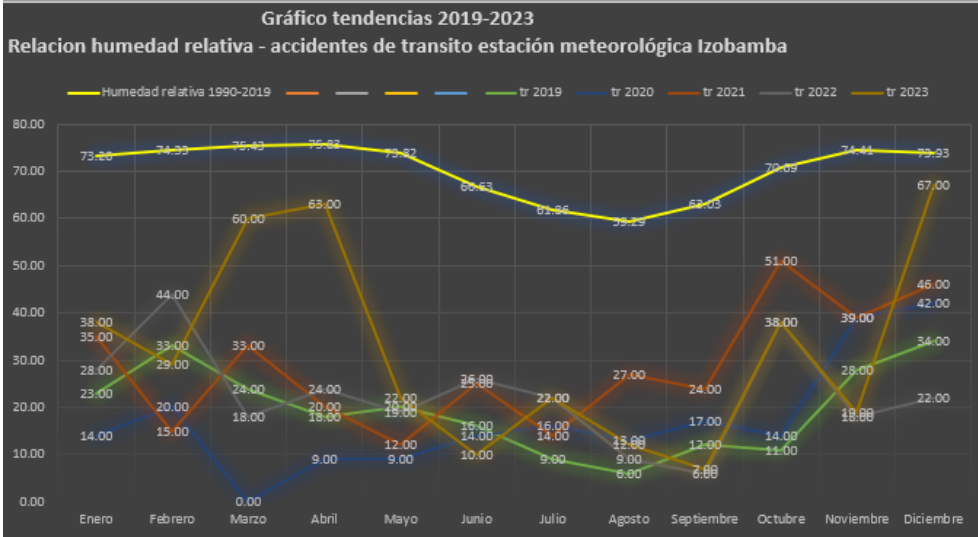


Julio	72.23	9.00	16.00	14.00	22.00	22.00
Agosto	69.47	6.00	13.00	27.00	9.00	12.00
Septiembre	72.27	12.00	17.00	24.00	6.00	7.00
Octubre	78.80	11.00	14.00	51.00	38.00	38.00
Noviembre	81.93	28.00	39.00	39.00	18.00	19.00
Diciembre	81.23	34.00	42.00	46.00	22.00	67.00

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 25

Relación variable humedad relativa media y tránsito, Tomalón, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia

Nubosidad

En la tabla 24 y gráfico 26 que se describen a continuación, se pudo apreciar el porcentaje de nubosidad media mensual de la información disponible en el periodo 1990 – 2019, (color amarillo), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al mismo periodo (diversos colores), con lo que fue posible establecer la relación existente entre el factor nubosidad y la ocurrencia de siniestros por accidentes de tránsito, se estableció que los meses de mayor presencia de siniestralidad se registraron en las dos temporadas húmedas, y en lo que respecta a la época seca, los meses de mayor siniestralidad son junio y agosto.

Tabla 24

Relación variable nubosidad media y tránsito Izobamba, periodo 2019-2023.

Meses	Nubosidad media	Transito				
	1990-2007 * 10	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	60.00	23.00	14.00	35.00	28.00	38.00
Febrero	60.00	33.00	20.00	15.00	44.00	29.00
Marzo	70.00	24.00	0.00	33.00	18.00	60.00
Abril	70.00	18.00	9.00	20.00	24.00	63.00
Mayo	60.00	20.00	9.00	12.00	19.00	22.00
Junio	50.00	16.00	14.00	25.00	26.00	10.00

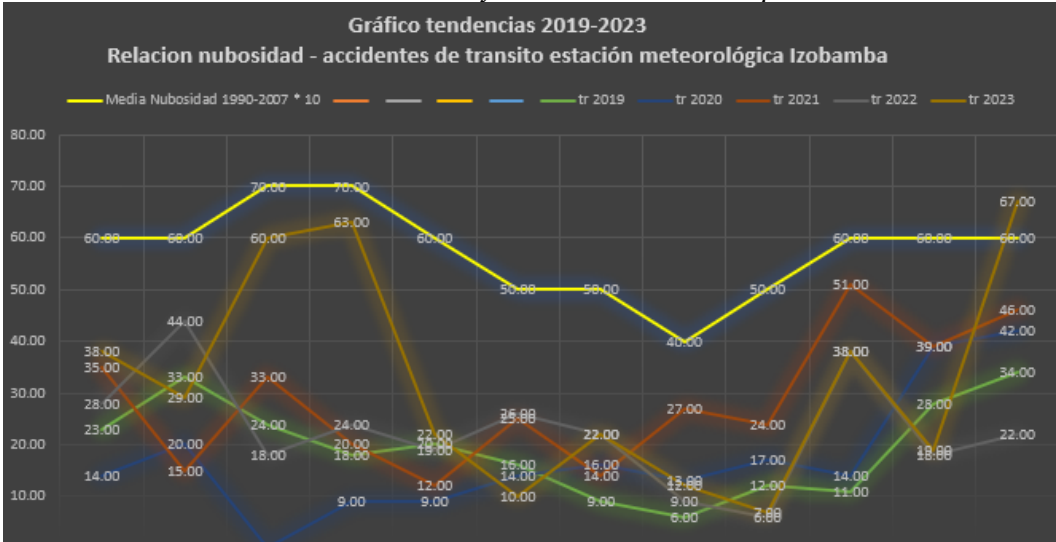


Julio	50.00	9.00	16.00	14.00	22.00	22.00
Agosto	40.00	6.00	13.00	27.00	9.00	12.00
Septiembre	50.00	12.00	17.00	24.00	6.00	7.00
Octubre	60.00	11.00	14.00	51.00	38.00	38.00
Noviembre	60.00	28.00	39.00	39.00	18.00	19.00
Diciembre	60.00	34.00	42.00	46.00	22.00	67.00

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 26

Relación variable humedad relativa media y tránsito, Izobamba, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia

Temperatura

En la tabla 25 y gráfico 27 que se describen a continuación, se pudo apreciar la temperatura media mensual en el periodo 2019 – 2023, (color amarillo), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al mismo periodo (diversos colores), con lo que fue posible establecer que las medias de temperatura mensuales fluctúan entre 10,80 a 12,90 °C (registrado año 2023, el más calidad del periodo de análisis), sin embargo, esta variable no tiene mayor incidencia con relación a los accidentes de tránsito.

Tabla 25

Relación variable temperatura y tránsito, Izobamba, periodo 2019-2023.

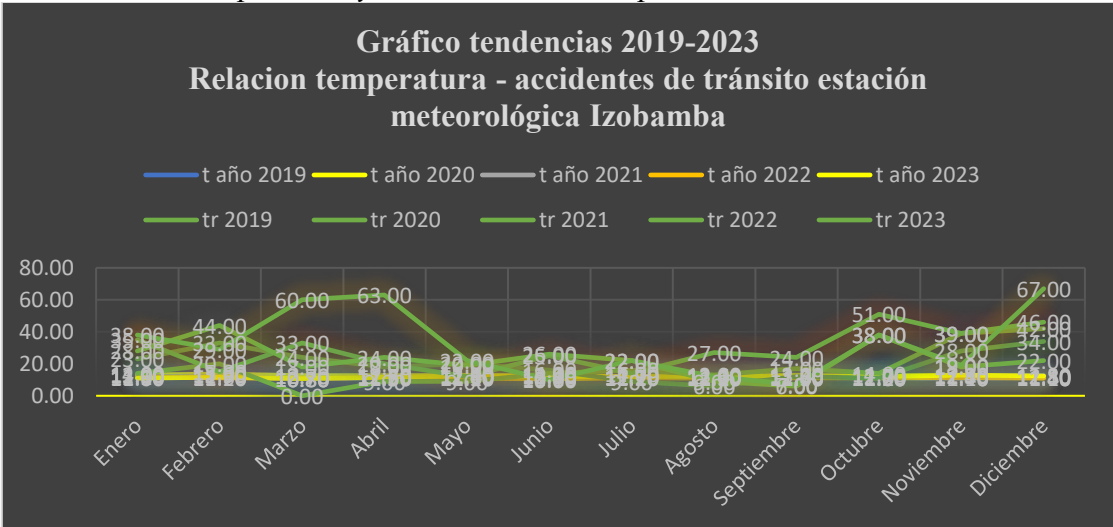
Meses	Temperatura					Transito				
	2019	2020	2021	2022	2023	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	12.90	13.00	12.10	11.90	11.00	23.00	14.00	35.00	28.00	38.00
Febrero	12.90	13.60	11.60	11.20	11.70	33.00	20.00	15.00	44.00	29.00
Marzo	12.70	12.70	10.70	10.80	10.80	24.00	0.00	33.00	18.00	60.00
Abril	12.50	12.70	11.30	11.50	11.60	18.00	9.00	20.00	24.00	63.00
Mayo	12.60	12.90	11.50	11.10	12.40	20.00	9.00	12.00	19.00	22.00
Junio	13.00	12.40	11.10	10.60	12.30	16.00	14.00	25.00	26.00	10.00
Julio	12.20	11.70	11.70	11.20	12.10	9.00	16.00	14.00	22.00	22.00



Agosto	12.60	12.60	11.30	11.10	12.20	6.00	13.00	27.00	9.00	12.00
Septiembre	13.00	12.30	11.40	11.30	12.70	12.00	17.00	24.00	6.00	7.00
Octubre	11.90	12.70	11.20	11.20	12.00	11.00	14.00	51.00	38.00	38.00
Noviembre	12.50	12.40	11.10	11.40	12.90	28.00	39.00	39.00	18.00	19.00
Diciembre	12.80	11.80	11.40	11.10	12.50	34.00	42.00	46.00	22.00	67.00

Nota: los valores en rojo corresponden a las medias del periodo de tiempo disponible
Fuente: elaboración propia.

Gráfico 27
Relación variable temperatura y tránsito, Izobamba, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE RUMIHURCO.

Precipitación

En la tabla 26 y grafico 28 que se describen a continuación, se pudo apreciar la cantidad de precipitación mensual correspondiente a los 5 últimos años (color verde), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al mismo periodo (color amarillo), con lo que fue posible establecer la relación existente entre el factor precipitación y la ocurrencia de siniestros por accidentes de tránsito, se determinó que los meses de mayor presencia de siniestralidad se registraron en las dos temporadas húmedas, que corresponde a los meses de marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre (los de mayor incidencia), enero septiembre (con menor impacto) y en lo que respecta a la época seca, los meses de mayor siniestralidad son junio y agosto.

Tabla 26
Relación variable precipitación y tránsito, Rumihurco, periodo 2019-2023.

Meses	Precipitación				Transito				
	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	71.20	75.20	57.70	109.50	23.00	14.00	35.00	28.00	38.00

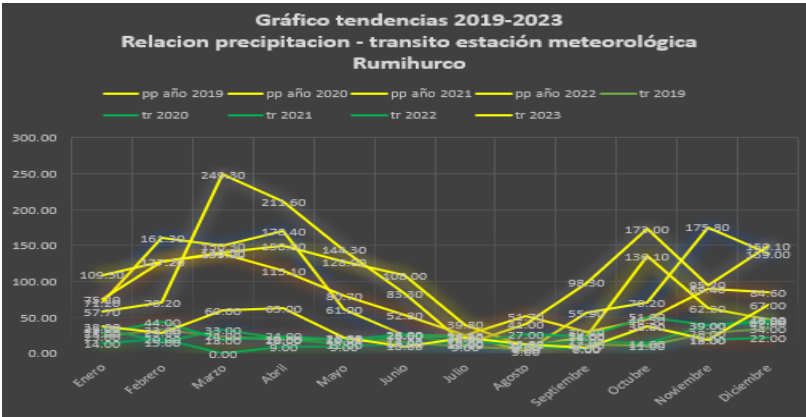


Febrero	161.30	127.20	70.20	127.20	33.00	20.00	15.00	44.00	29.00
Marzo	150.30	139.20	249.30	140.00	24.00	0.00	33.00	18.00	60.00
Abril	170.40	115.10	211.60	150.00	18.00	9.00	20.00	24.00	63.00
Mayo	61.00	80.70	144.30	128.00	20.00	9.00	12.00	19.00	22.00
Junio	24.60	52.80	83.30	108.00	16.00	14.00	25.00	26.00	10.00
Julio	23.30	24.50	12.10	39.80	9.00	16.00	14.00	22.00	22.00
Agosto	3.00	51.70	41.00	9.50	6.00	13.00	27.00	9.00	12.00
Septiembre	55.90	30.20	98.30	23.00	12.00	17.00	24.00	6.00	7.00
Octubre	70.20	46.50	173.00	136.10	11.00	14.00	51.00	38.00	38.00
Noviembre	175.80	89.40	95.20	62.20	28.00	39.00	39.00	18.00	19.00
Diciembre	139.00	84.60	150.10	46.90	34.00	42.00	46.00	22.00	67.00

Nota: los valores en rojo corresponden a las medias del periodo de tiempo disponible
Fuente: elaboración propia.

Gráfico 28

Relación variable precipitación y tránsito, Rumihurco, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia.

Humedad relativa

En la tabla 27 y gráfico 29 que se describen a continuación, se pudo apreciar el porcentaje de humedad relativa media mensual de la información disponible en el periodo 1990 – 2019, (gama colores superior), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al mismo periodo (gama colores inferior), con lo que fue posible establecer la relación existente entre el factor humedad relativa y la ocurrencia de siniestros por accidentes de tránsito, se estableció que los meses de mayor presencia de siniestralidad se registraron en las dos temporadas húmedas, y en lo que respecta a la época seca, los meses de mayor siniestralidad son junio y agosto.

Tabla 27

Relación variable humedad relativa media y tránsito Rumihurco, periodo 2019-2023.

Meses	Humedad relativa				Transito			
	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	81.00	91.00	93.00	23	14	35	28	38
Febrero	82.00	93.00	98.00	33	20	15	44	29

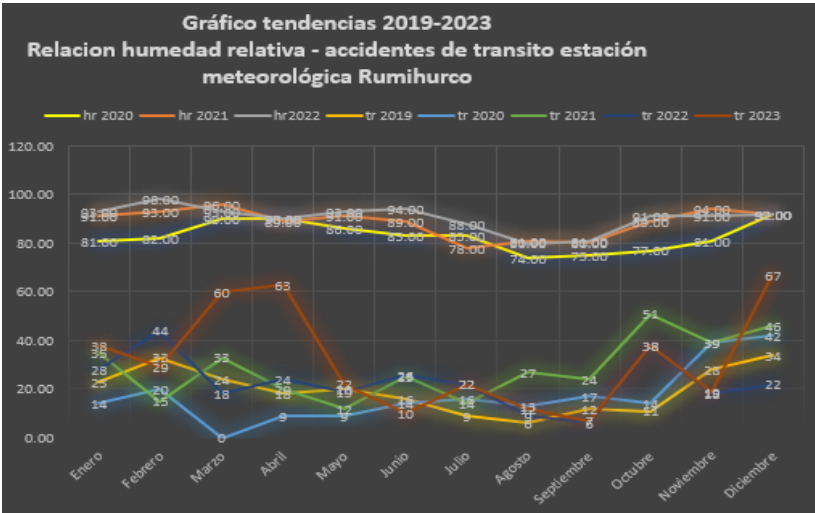


Marzo	90.00	96.00	93.00	24	0	33	18	60
Abril	90.00	89.00	90.00	18	9	20	24	63
Mayo	86.00	91.00	93.00	20	9	12	19	22
Junio	83.00	89.00	94.00	16	14	25	26	10
Julio	83.00	78.00	88.00	9	16	14	22	22
Agosto	74.00	81.00	80.00	6	13	27	9	12
Septiembre	75.00	80.00	81.00	12	17	24	6	7
Octubre	77.00	89.00	91.00	11	14	51	38	38
Noviembre	81.00	94.00	91.00	28	39	39	18	19
Diciembre	92.00	92.00	92.00	34	42	46	22	67

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 29

Relación variable humedad relativa media y tránsito, Rumihurco, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia

Velocidad del viento

En la tabla 28 y gráfico 30 que se describen a continuación, se pudo apreciar velocidad del viento en el periodo 2020 – 2021, (color amarillo), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al periodo 2019 – 2023 (diversos colores), se pudo visualizar que esta variable no tiene mayor incidencia con relación a los accidentes de tránsito.

Tabla 28

Relación variable velocidad del viento y tránsito, Izobamba, periodo 2019-2023.

Meses	Velocidad viento		Transito				
	2020	2021	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	6.36	7.71	23	14	35	28	38
Febrero	5.64	8.94	33	20	15	44	29
Marzo	4.36	6.81	24	0	33	18	60
Abril	5.13	9.55	18	9	20	24	63
Mayo	6.25	10.26	20	9	12	19	22
Junio	6.63	9.67	16	14	25	26	10

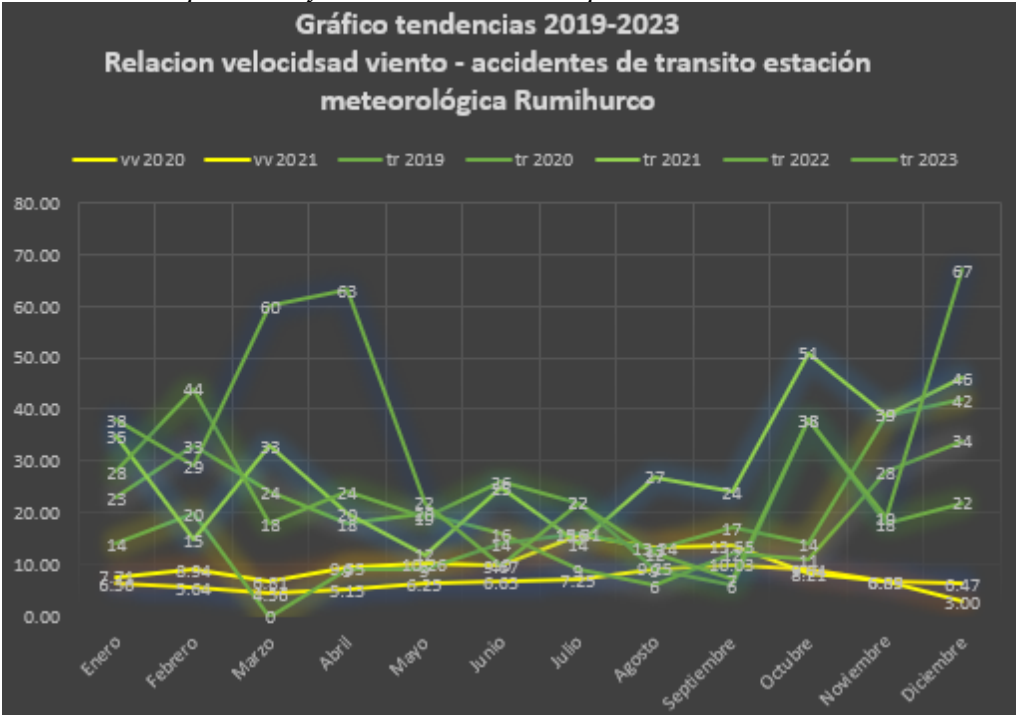


Julio	7.25	15.81	9	16	14	22	22
Agosto	9.25	13.24	6	13	27	9	12
Septiembre	10.03	13.55	12	17	24	6	7
Octubre	9.04	8.21	11	14	51	38	38
Noviembre	6.65	6.89	28	39	39	18	19
Diciembre	6.47	3.00	34	42	46	22	67

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 30

Relación variable temperatura y tránsito, Izobamba, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia.

Temperatura

En la tabla 29 y gráfico 31 que se describen a continuación, se pudo apreciar la temperatura media mensual en el periodo 2020 – 2022, (color amarillo), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al mismo periodo (diversos colores), con lo que fue posible establecer que las medias de temperatura mensuales fluctúan entre 8,33 a 9,75°C, sin embargo, esta variable no tiene mayor incidencia con relación a los accidentes de tránsito.

Tabla 29

Relación variable temperatura y tránsito, Rumihurco, periodo 2019-2023.

Meses	Temperatura				Transito			
	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	9.48	8.41	8.52	23	14	35	28	38
Febrero	9.75	8.81	8.35	33	20	15	44	29
Marzo	9.40	7.80	9.28	24	0	33	18	60

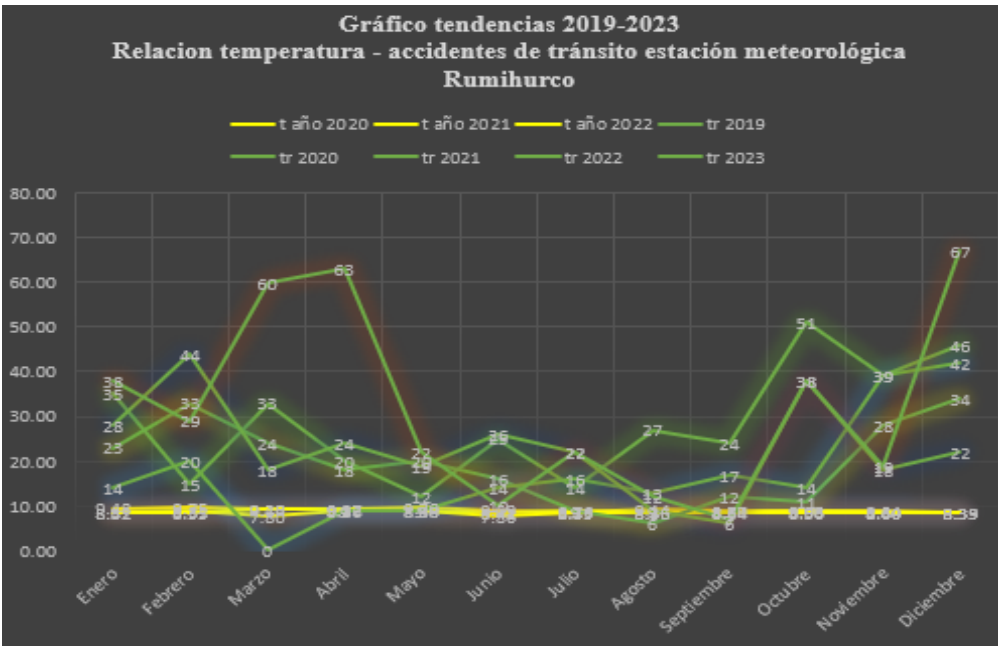


Abril	9.37	8.86	9.12	18	9	20	24	63
Mayo	9.70	8.88	8.90	20	9	12	19	22
Junio	9.09	8.42	7.86	16	14	25	26	10
Julio	8.37	8.76	8.45	9	16	14	22	22
Agosto	9.14	8.46	8.36	6	13	27	9	12
Septiembre	8.87	8.64	8.70	12	17	24	6	7
Octubre	9.05	8.98	8.56	11	14	51	38	38
Noviembre	8.84	8.40	8.60	28	39	39	18	19
Diciembre	8.39	8.35	8.33	34	42	46	22	67

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 31

Relación variable temperatura y tránsito, Rumihurco, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE EL TROJE.

Precipitación

En la tabla 30 y gráfico 32 que se describen a continuación, se pudo apreciar la cantidad de precipitación mensual correspondiente a los 4 últimos años (color verde), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al mismo periodo (color amarillo la relación existente entre el factor precipitación y la ocurrencia de siniestros por accidentes de tránsito, se estableció que los meses de mayor presencia de marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre (y en lo que respecta a la época seca, los meses de mayor siniestralidad son julio y agosto).

Tabla 30

Relación variable precipitación y tránsito, “El Troje”, periodo 2019-2023.

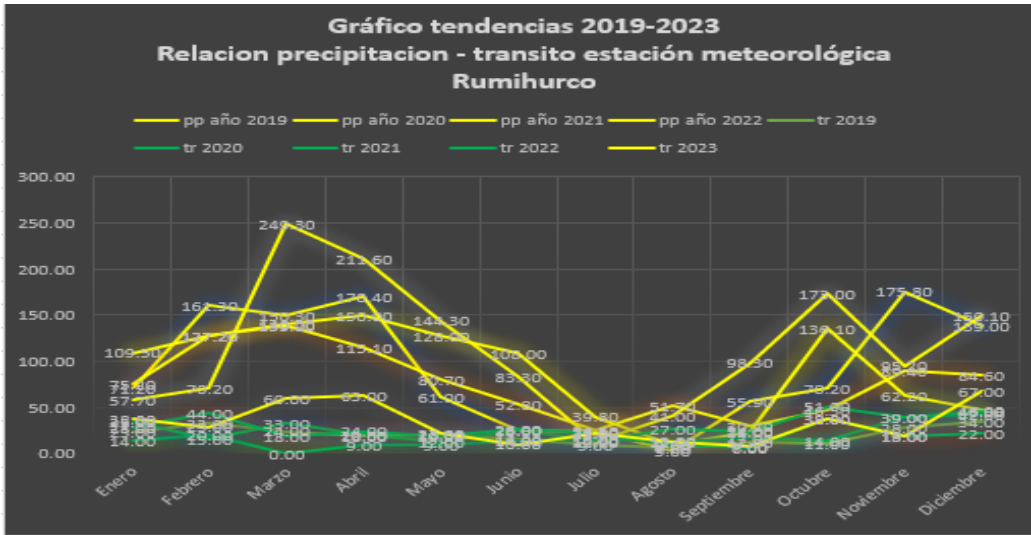


Meses	Precipitación				Transito				
	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	71.20	75.20	57.70	109.50	23.00	14.00	35.00	28.00	38.00
Febrero	161.30	127.20	70.20	127.20	33.00	20.00	15.00	44.00	29.00
Marzo	150.30	139.20	249.30	140.00	24.00	0.00	33.00	18.00	60.00
Abril	170.40	115.10	211.60	150.00	18.00	9.00	20.00	24.00	63.00
Mayo	61.00	80.70	144.30	128.00	20.00	9.00	12.00	19.00	22.00
Junio	24.60	52.80	83.30	108.00	16.00	14.00	25.00	26.00	10.00
Julio	23.30	24.50	12.10	39.80	9.00	16.00	14.00	22.00	22.00
Agosto	3.00	51.70	41.00	9.50	6.00	13.00	27.00	9.00	12.00
Septiembre	55.90	30.20	98.30	23.00	12.00	17.00	24.00	6.00	7.00
Octubre	70.20	46.50	173.00	136.10	11.00	14.00	51.00	38.00	38.00
Noviembre	175.80	89.40	95.20	62.20	28.00	39.00	39.00	18.00	19.00
Diciembre	139.00	84.60	150.10	46.90	34.00	42.00	46.00	22.00	67.00

Nota: los valores en rojo corresponden a las medias del periodo de tiempo disponible
Fuente: elaboración propia.

Gráfico 32

Relación variable precipitación y tránsito, “El Troje”, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia.

Humedad relativa

En la tabla 31 y gráfico 33 que se describen a continuación, se pudo apreciar el porcentaje de humedad relativa media mensual de la información disponible en el periodo 2020 – 2022, (gama colores superior), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al mismo periodo (gama colores inferior), se determinó que los meses de mayor presencia de siniestralidad se registraron en las dos temporadas húmedas, y en lo que respecta a la época seca, los meses de mayor siniestralidad son junio y agosto.

Tabla 31

Relación variable humedad relativa media y tránsito “El Troje”, periodo 2019-2023.

Humedad relativa	Transito
------------------	----------

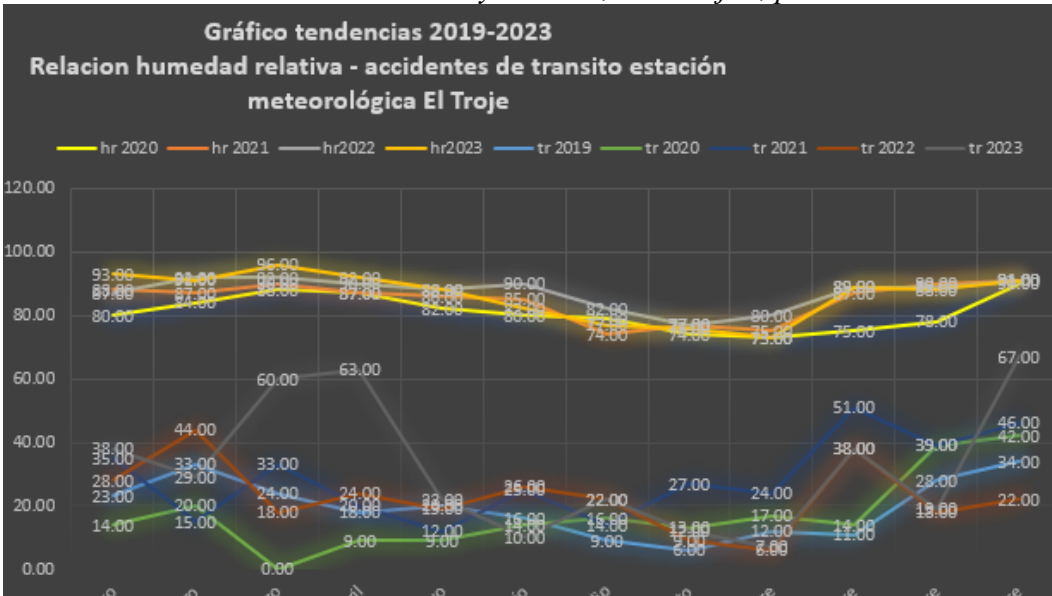


Meses	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	81.00	91.00	93.00	23	14	35	28	38
Febrero	82.00	93.00	98.00	33	20	15	44	29
Marzo	90.00	96.00	93.00	24	0	33	18	60
Abril	90.00	89.00	90.00	18	9	20	24	63
Mayo	86.00	91.00	93.00	20	9	12	19	22
Junio	83.00	89.00	94.00	16	14	25	26	10
Julio	83.00	78.00	88.00	9	16	14	22	22
Agosto	74.00	81.00	80.00	6	13	27	9	12
Septiembre	75.00	80.00	81.00	12	17	24	6	7
Octubre	77.00	89.00	91.00	11	14	51	38	38
Noviembre	81.00	94.00	91.00	28	39	39	18	19
Diciembre	92.00	92.00	92.00	34	42	46	22	67

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 33

Relación variable humedad relativa media y tránsito, “El Troje”, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia

Velocidad del viento

En la tabla 32 y gráfico 34 que se describen a continuación, se registró la velocidad del viento en el periodo 2020 – 2021, (color amarillo), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al periodo 2019 – 2023 (color verde), se pudo visualizar que esta variable no tiene mayor incidencia con relación a los accidentes de tránsito.

Tabla 32

Relación variable velocidad del viento y tránsito “El Troje”, periodo 2019-2023.

Meses	Velocidad viento			Transito			
	2020	2021	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	6.26	5.79	23	14	35	28	38

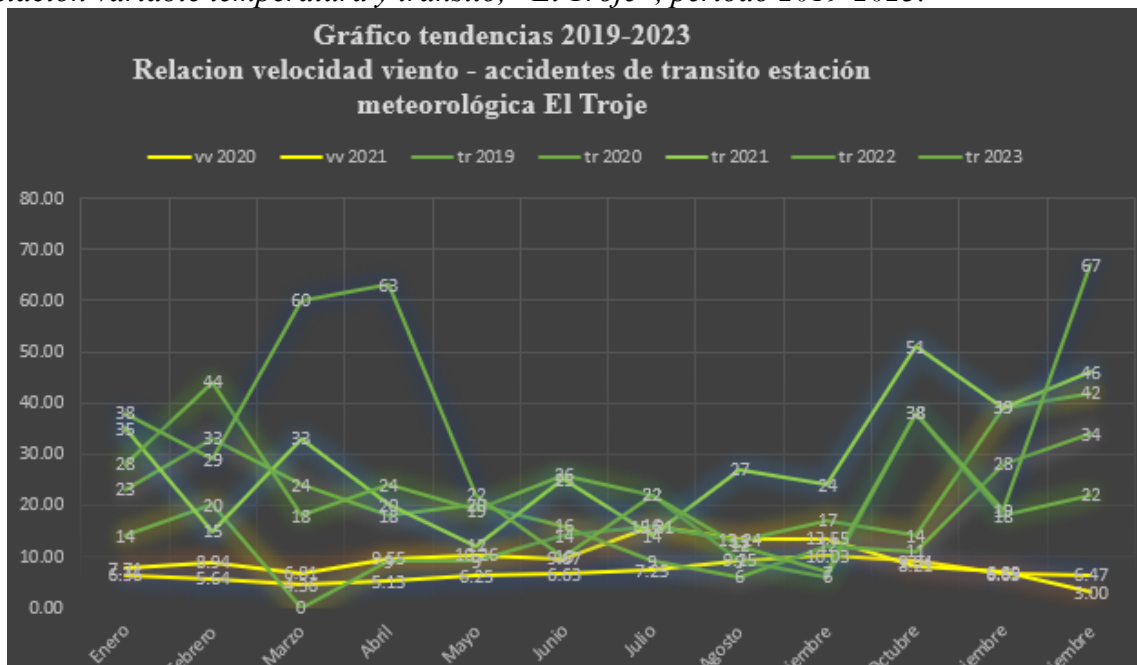


Febrero	5.79	5.87	33	20	15	44	29
Marzo	5.58	5.47	24	0	33	18	60
Abril	5.17	5.42	18	9	20	24	63
Mayo	5.51	6.04	20	9	12	19	22
Junio	5.65	6.03	16	14	25	26	10
Julio	5.60	7.90	9	16	14	22	22
Agosto	7.01	7.18	6	13	27	9	12
Septiembre	6.45	7.52	12	17	24	6	7
Octubre	7.04	6.41	11	14	51	38	38
Noviembre	5.67	5.72	28	39	39	18	19
Diciembre	5.12	5.86	34	42	46	22	67

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 34

Relación variable temperatura y tránsito, “El Troje”, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia.

Temperatura

En la tabla 33 y gráfico 35 que se describen a continuación, se registró la temperatura media mensual en el periodo 2020 – 2023, (color amarillo), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al mismo periodo (color verde), con lo que fue posible establecer que las medias de temperatura mensuales fluctúan entre 10,43 a 12.25°C, sin embargo, esta variable no tiene mayor incidencia con relación a los accidentes de tránsito.

Tabla 33

Relación variable temperatura y tránsito, “El Troje”, periodo 2019-2023.

Temperatura **Transito**

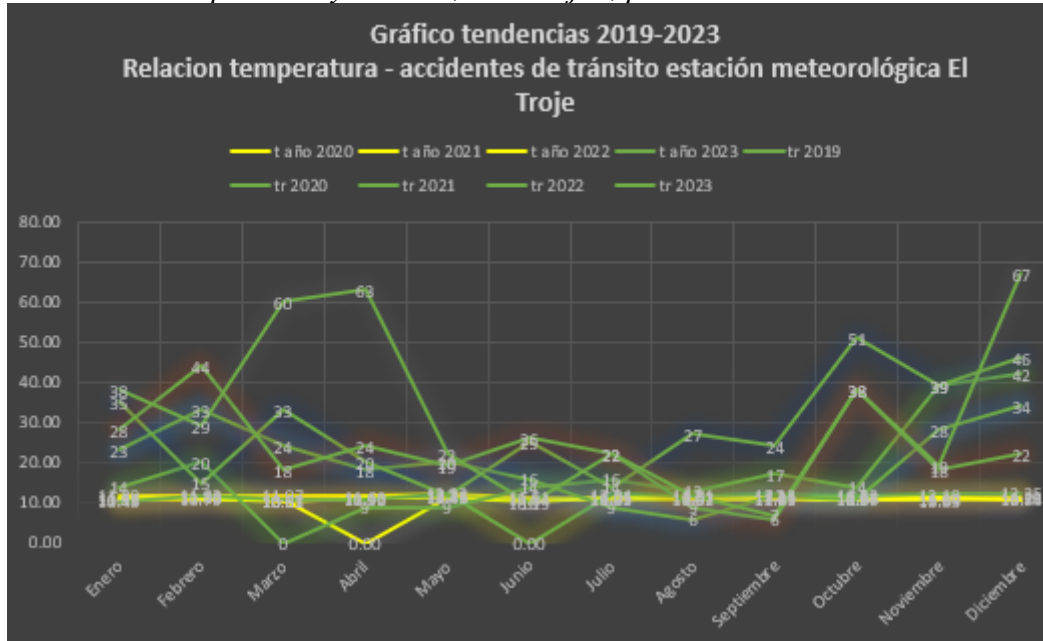


Meses	2020	2021	2022	2023	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	11.89	10.96	11.11	10.43	23	14	35	28	38
Febrero	11.93	11.40	10.79	11.56	33	20	15	44	29
Marzo	11.97	10.37	10.61	10.63	24	0	33	18	60
Abril	11.68	11.12	11.14	10.90	18	9	20	24	63
Mayo	12.21	11.46	11.35	12.33	20	9	12	19	22
Junio	11.51	10.84	10.19	11.91	16	14	25	26	10
Julio	10.91	11.25	11.03	12.04	9	16	14	22	22
Agosto	11.51	11.02	10.97	11.81	6	13	27	9	12
Septiembre	11.25	11.19	11.01	12.13	12	17	24	6	7
Octubre	11.38	10.96	10.87	11.83	11	14	51	38	38
Noviembre	11.14	10.63	11.09	12.19	28	39	39	18	19
Diciembre	10.84	11.29	10.79	12.25	34	42	46	22	67

Nota: los valores en rojo corresponden a las medias del periodo de tiempo disponible
Fuente: elaboración propia.

Gráfico 35

Relación variable temperatura y tránsito, “El Troje”, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE EL AEROPUERTO - D.A.C.

Precipitación

En la tabla 34 y gráfico 36 que se describen a continuación, se pudo apreciar la cantidad de precipitación mensual que corresponde a una media de precipitación en el periodo 1891-1982 (color verde), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al periodo 2019 - 2025 (color amarillo la relación existente entre el factor precipitación y la ocurrencia de siniestros por accidentes de tránsito, se estableció que los meses de mayor presencia de precipitación



corresponde a enero, febrero, marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre (y en lo que respecta a la época seca, los meses de mayor siniestralidad son junio y agosto).

Tabla 34

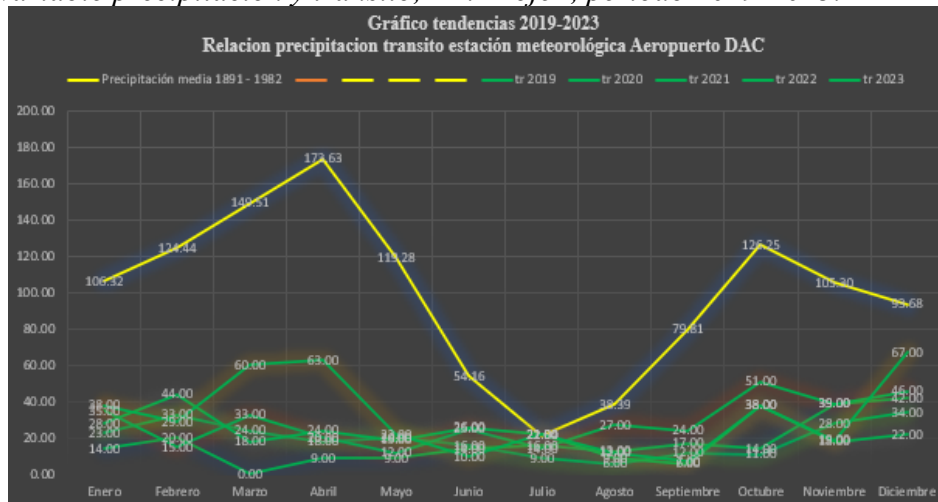
Relación variable precipitación y tránsito, Aeropuerto DAC, periodo 2019-2023.

Meses	Precipitación	Transito				
	Precipitación media 1891 - 1982	tr 2019	tr 2020	tr 2021	tr 2022	tr 2023
Enero	106.32	23.00	14.00	35.00	28.00	38.00
Febrero	124.44	33.00	20.00	15.00	44.00	29.00
Marzo	149.51	24.00	0.00	33.00	18.00	60.00
Abril	173.63	18.00	9.00	20.00	24.00	63.00
Mayo	119.28	20.00	9.00	12.00	19.00	22.00
Junio	54.16	16.00	14.00	25.00	26.00	10.00
Julio	21.54	9.00	16.00	14.00	22.00	22.00
Agosto	38.39	6.00	13.00	27.00	9.00	12.00
Septiembre	79.81	12.00	17.00	24.00	6.00	7.00
Octubre	126.25	11.00	14.00	51.00	38.00	38.00
Noviembre	105.30	28.00	39.00	39.00	18.00	19.00
Diciembre	93.68	34.00	42.00	46.00	22.00	67.00

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 36

Relación variable precipitación y tránsito, “El Troje”, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia.

Temperatura

En la tabla 35 y gráfico 37 que se describen a continuación, se registró la temperatura, que corresponde a una media en el periodo 1891-1982, (color amarillo), frente al número de accidentes de tránsito correspondiente al mismo periodo (color verde), con lo que fue posible establecer que las medias de temperatura mensuales fluctúan entre 13,54 a 14,96°C, sin embargo, esta variable no tiene mayor incidencia con relación a los accidentes de tránsito.



Tabla 35

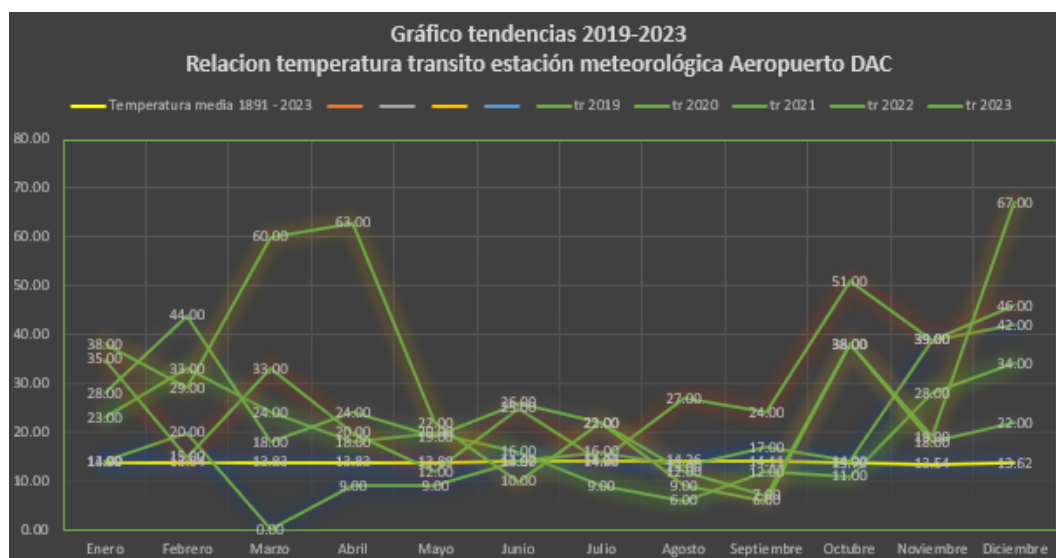
Relación variable temperatura y tránsito, “Aeropuerto DAC”, periodo 2019-2023.

Meses	Temperatura media	Transito				
	1891 - 2023	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	13.90	23.00	14.00	35.00	28.00	38.00
Febrero	13.94	33.00	20.00	15.00	44.00	29.00
Marzo	13.83	24.00	0.00	33.00	18.00	60.00
Abril	13.83	18.00	9.00	20.00	24.00	63.00
Mayo	13.89	20.00	9.00	12.00	19.00	22.00
Junio	13.97	16.00	14.00	25.00	26.00	10.00
Julio	14.23	9.00	16.00	14.00	22.00	22.00
Agosto	14.26	6.00	13.00	27.00	9.00	12.00
Septiembre	14.11	12.00	17.00	24.00	6.00	7.00
Octubre	13.79	11.00	14.00	51.00	38.00	38.00
Noviembre	13.54	28.00	39.00	39.00	18.00	19.00
Diciembre	13.62	34.00	42.00	46.00	22.00	67.00

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 37

Relación variable temperatura y tránsito, “Aeropuerto DAC”, periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia.

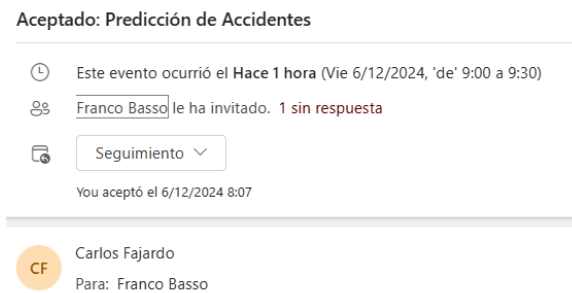
ANEXO 4

Entrevista semiestructurada con Dr. Franco Basso, PhD.

Objetivo de la Entrevista: Explorar la experiencia y los aportes de Franco Basso, PhD., Académico Escuela Ingeniería Industrial, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, en la predicción de accidentes de tránsito mediante sistemas de alerta temprana, y cómo estos



conocimientos pueden aplicarse para implementar un Sistema de Alerta Temprana Hidrometeorológico (SAT-HM) en Quito, Ecuador.



Datos del Entrevistado:

- Nombre: Franco Basso, PhD
- Cargo: Académico Escuela Ingeniería Industrial, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
- Fecha de la Entrevista: 6 de diciembre de 2024
- Lugar de la Entrevista: Modalidad virtual, 15h00 (Milán Italia), 9h00 (Quito, Ecuador).

Introducción:

- **Presentación del entrevistador y agradecimiento al Dr. Franco Basso por su tiempo.**

Estimado Franco. Me presento, soy Carlos Fajardo, investigador, actualmente estoy cursando estudios de post grado en el IAEN, mis competencias rectoras tienen relación con la meteorología, ciencias básicas, de la tierra y procesos. Estoy muy agradecido por la atención a esta reunión.

- **Breve introducción sobre el propósito de la entrevista y su relevancia para la investigación sobre el SAT-HM en la ciudad de Quito.**

El propósito de la investigación es desarrollar una propuesta para la implementación de un Sistema de alerta temprana hidrometeorológico (SAT-HM), para la reducción de los accidentes de tránsito en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha – Ecuador, por lo que, se establecerá la relación existente entre la ocurrencia y causas de los accidentes de tránsito en los cinco últimos años (2019-2023) que inciden en la ciudad de Quito, con la influencia del factor clima. Se utilizarán las medias mensuales respecto a parámetros climáticos como: precipitación, humedad relativa, nubosidad, temperatura,



dirección de viento en el periodo 2019-2023, de seis estaciones meteorológicas ubicadas en varios sectores representativos de la ciudad de Quito, para determinar cuál ha sido la evolución del clima y como está incide en el área de estudio. Se considerará también una variable mediadora, en este caso, la estacionalidad entre temporada seca y húmeda, identificando los parámetros climáticos que influyen en la ocurrencia de la temporadas húmedas y seca en la ciudad de Quito, se utilizarán las medias mensuales históricas de las estaciones meteorológicas seleccionadas en diversos periodos de tiempo disponibles entre 17 y 91 años.

Sección 1: Contexto y Experiencia.

1.1. En este aspecto, ¿sobre tu experiencia en la investigación relacionada con los accidentes de tránsito en tu país, cual fue tu línea de investigación, cuales fueron los requerimientos básicos y como se escogió el área de estudio?

La línea de investigación fue relacionada con la predicción de accidentes de tránsito. Se utilizaron datos desagregados, esto es, información de cada vehículo por separado, niveles altos de tráfico, sistemas de monitoreo robustos, con lo que se llegó a niveles de predicción razonables.

Para el efecto se consideró un tramo de la Autopista Central de Chile, autopista urbana que cruza de norte a sur la ciudad de Santiago de Chile, se desarrolló un modelo matemático predictivo que es capaz de predecir si se va a producir un accidente. Lo que hace el modelo para llegar a ese resultado es un cruce de información entre la data histórica, cómo se comportó el flujo en y qué accidentes ocurrieron en el periodo analizado y la información que se dispone en tiempo real por cada vehículo que circula por la autopista.

1.2. ¿Qué te motivó a investigar este tema en particular en el área seleccionada?

El proyecto fue piloto, en el contexto de generar un modelo para la predicción de accidentes de tránsito en un tramo de la Autopista Central de Chile, este lugar fue escogido por la disponibilidad de la información existente y al tratarse de una autopista absolutamente controlada a partir de un sistema robusto de sensores y niveles de tráfico altos.

1.3. ¿Cuál fue el porcentaje de predictibilidad alcanzado para la predicción de los accidentes de tránsito, ¿cuáles fueron las variables y desde cuando este está operativo?

Hay varias maneras de medir la capacidad predictiva. En eventos raros, la predictividad hay que tomarla con mucho cuidado. En lo que respecta al modelo que se implementó para la autopista central de Chile se obtuvo un porcentaje de acertabilidad entre el **65% a 75%**, considerando un falso positivo típico del 20%. Al respecto manifestó que este sistema tiene



la capacidad de alertar a los conductores con hasta cinco minutos de antelación sobre zonas específicas donde se prevé un aumento en el riesgo de accidentes de tránsito

Para el efecto, se requiere de base de datos de accidentes precisos, a detalle por hora y día, radares, un sistema de sensores instalados en la autopista de estudio, y que disponga también de un sistema de cobro (peajes). El análisis es micro, por lo que se requiere de un sistema robusto de datos.

El sistema piloto está operativo desde hace cuatro años, se monitorea las situaciones de riesgo, estamos en la fase de intervención. El sistema completo con predicción e intervención arranca desde este año.

Sección 2: Sistemas de Alerta Temprana.

2.1. En Tu artículo "Real-time crash prediction in an urban expressway using disaggregated data" (Predicción de accidentes en tiempo real en una autopista urbana utilizando datos desagregados), ¿cuáles son los hallazgos más significativos que consideras relevantes para la implementación de un Sistema de Alerta Temprana?

El uso de modelos como la regresión logística y máquinas de soporte vectorial (SVM) en el estudio demuestra cómo los datos desagregados pueden mejorar la precisión de las predicciones, lo que es esencial para el funcionamiento eficaz de un sistema de alerta temprana en entornos urbanos. Esto resalta la relevancia de contar con tecnologías avanzadas y datos precisos para la implementación de estos sistemas en la infraestructura.

2.2. ¿Cómo influye la información climática, en la predicción de los accidentes de tránsito?

En los análisis originales estos no aparecieron como relevantes, posiblemente, al ser una zona limitada en un tramo pequeño, por lo que, no hay mucha variabilidad, por tanto, no incide primordialmente el factor clima. Pero conforme a literatura científica revisada se demuestra que sí existe impacto dependiendo de la zona.

2.3. ¿Has tenido la oportunidad de observar o replicar la implementación de sistemas similares en otras ciudades?

Al momento se ha trabajado únicamente como proyecto piloto en una autopista de Chile.

2.4. Para el área donde se implementó este sistema, ¿está contemplado alguna medida de calibración o sensibilización del mismo?

Se han realizado calibraciones permanentes, existe un contrato de recalibración constante de los modelos, respecto a los flujos. Las recalibraciones se hacen cada seis meses. Por ejemplo, en la pandemia del Covid, hubo un problema de flujos en el sistema, por las



condiciones inusuales del tráfico, y las restricciones; al contrario, este empezó a reportar un nivel alto de tráfico, por lo que fue necesario recalibrar el mismo.

Sección 3: Aplicación en la ciudad de Quito, Ecuador.

3.1. En relación a la ciudad de Quito, ¿qué factores específicos crees que deben considerarse para incorporar la predicción de los accidentes de tránsito en la implementación de un SAT-HM?

Se requieren conocer los alcances, podría utilizarse un modelo inicialmente explicativo y determinar las variables más importantes en la ciudad de Quito como: flujo vehicular: cantidad de vehículos livianos o pesados que circulan por las vías que se van a monitorear, disponer de datos con cámaras, radares y una base precisa y confiable de ocurrencia de accidentes de tránsito en las zonas de estudio.

Para la autopista elegida, se necesita un ambiente protegido, que disponga de radares y un nivel de sensorización precisa.

3.2. ¿Cómo se podrían adaptar los modelos de predicción que has desarrollado a las condiciones de Quito?

Se requiere disponibilidad de datos, machine learning (espacial y temporal). Es importante conocer un historial de accidentes espacial y temporal. Que variables se pueden construir en periodos previos de los accidentes y analizar todas las variables que se consideren asociadas al flujo vehicular y ocurrencia de los accidentes de tránsito.

Se necesita un ambiente protegido, con mucho tráfico y que este muy sensorizado.

Sección 4: Reflexiones Finales

4.1. ¿Hay algo más que te gustaría agregar sobre la importancia de la investigación en la predicción de accidentes y su relación con la seguridad vial?

Es necesario saber si el enfoque es a nivel de autopista o ciudad. Las metodologías en estos casos muy distintos.

4.2. ¿Es posible participar en reuniones futuras para la implementación de un sistema similar en la ciudad de Quito?

Por supuesto. Hay que buscar el ambiente más protegido para la implantación de un sistema similar. En este caso estoy a la disposición de requerirse cualquier tipo de participación que me sea requerida.

Cierre:



- **Agradecimiento a Franco Basso por su participación y valiosas aportaciones.**

Estimado Franco, te agradezco por la información, que sin lugar a dudas va a ser de mucha utilidad para la investigación que se está desarrollando.

- **Información sobre los próximos pasos en la investigación y cómo se utilizarán sus respuestas.**

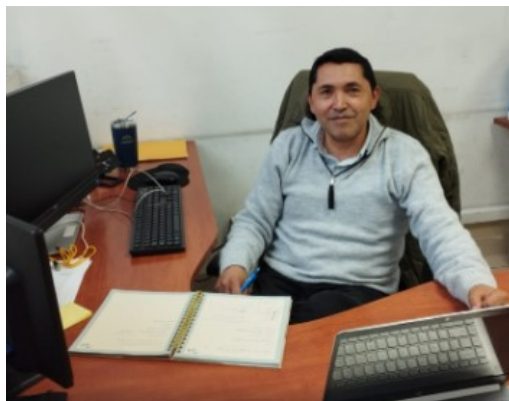
Está prevista una próxima reunión con la Alcaldía de Quito, para mostrar las virtudes de la investigación y establecer un plan de acción para la implementación de una Sistema de Alerta Temprana para la reducción de los accidentes de tránsito en la ciudad de Quito y plantear la posibilidad de establecer un sistema similar al que ejecutaste en Chile para la predicción de los accidentes de tránsito.

Estoy muy agradecido por tu participación, saludos. Estaremos en contacto.

ANEXO 5

Entrevista semiestructurada con Ing. German López.

Objetivo de la Entrevista: Explorar la experiencia y los aportes del Ing. German López, director de Revisión Técnica Vehicular (R.T.V.), Distrito Metropolitano de Quito, sobre la implementación de un sistema de alerta temprana hidrometeorológico (SAT-HM) para reducir los accidentes de tránsito, en la ciudad de Quito, Ecuador.



Datos del Entrevistado:

- Nombre: Ing. German López
- Cargo: director de R.T.V., Distrito Metropolitano de Quito.
- Fecha de la Entrevista: 14 de enero de 2025
- Lugar de la Entrevista: Oficina Revisión Técnica Vehicular Parque Bicentenario, calle Iturralde y Avenida de la Prensa.

Introducción:



- **Presentación del entrevistador y agradecimiento al entrevistado por su tiempo.**

Estimado German. Me presento, soy Carlos Fajardo, investigador, actualmente estoy cursando estudios de post grado en el IAEN, mis competencias rectoras tienen relación con la meteorología, ciencias básicas, de la tierra y procesos. Estoy muy agradecido por la atención a esta reunión.

- **Breve introducción sobre el propósito de la entrevista y su relevancia para la investigación sobre el SAT-HM, en relación con la seguridad vial y la reducción de accidentes en la ciudad de Quito.**

Actualmente estoy desarrollando una investigación relacionada con la implementación de un sistema de alerta temprana hidrometeorológico para reducir los accidentes de tránsito en la ciudad de Quito – Ecuador. En una investigación anteriormente realizada para la “Determinación del índice de accidentes de tránsito, en función de las variables tiempo, clima y transporte, eje vial E-28 B, Provincia de pichincha, Ecuador” (Flores Méndez, C. A., Mora Flores, P. A., & Fajardo Rodríguez, C. J., 2022), fue posible determinar un índice de accidentabilidad en la ocurrencia de los siniestros de tránsito y la relación existente con el factor clima, determinando los meses de mayor presencia de siniestralidad.

Mi interés radica en coordinar una reunión y entrevista con ustedes respecto a la información disponible que se me pueda proporcionar para la investigación en mención. Es importante mencionar que previamente a esta reunión que estoy solicitando, tuve la oportunidad de realizar una entrevista al Dr. Franco Basso, PhD., Académico de la Escuela de Ingeniería Industrial, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso - Chile, autor del artículo "Real-time crash prediction in an urban expressway using disaggregated data", respecto al desarrollo de un modelo matemático predictivo que es capaz de predecir si se va a producir un accidente de tránsito, en el que planteó que este modelo de predicción podría implementarse en la ciudad de Quito, pero para ello, se requiere, determinar factores como: flujo vehicular: cantidad de vehículos livianos o pesados que circulan por las vías que se van a monitorear, disponer de datos con cámaras, radares y una base precisa y confiable de ocurrencia de accidentes de tránsito en las zonas de estudio.

Sección 1: Preguntas generales

5.1.¿De parte del Distrito Metropolitano de Quito, se ha planteado el interés de implementar un sistema de alerta temprana hidrometeorológico para reducir los



accidentes de tránsito en la ciudad de Quito y, construir algún modelo que permita predecir los accidentes de tránsito?

Existe el interés de implementar sistemas de monitoreo y alerta temprana en el Distrito Metropolitano de Quito (D.M.Q.).

Actualmente se ha implementado el Sistema Metropolitano de Información (SMI) en el que esta incorporado el Módulo de Indicadores Quito (MIQ), en lo que respecta al eje de Movilidad sostenible.

5.2. ¿Ha habido iniciativas previas relacionadas con sistemas de alerta temprana en la ciudad? ¿Cuáles han sido los resultados?

En lo que se relaciona a movilidad sostenible, no se han implementado sistemas de alerta temprana, pero de parte del Municipio de Quito, existe el interés para su efecto.

Sección 2: Preguntas Específicas sobre Accidentes de Tránsito y su relación con el factor climático.

5.3. Según su conocimiento, ¿cómo han influido las condiciones climáticas en los accidentes de tránsito en Quito en los últimos cinco años?

Las condiciones climáticas son determinantes para la ocurrencia de los accidentes de tránsito en la ciudad de Quito.

5.4. Datos de Accidentes: Se dispone de información de accidentes de tránsito por horas, días y fechas de los accidentes de tránsito en los últimos 5 años y si en ellos se incorpora también entre las causas el factor climático.

La información se encuentra disponible en el Sistema Metropolitano de Información (SMI) en el que se reportan los indicadores relacionados con la movilidad sostenible, referente a: número de siniestros ocurridos en el DMQ, número de revisiones técnicas vehiculares realizadas en el DMQ, número de operativos realizados por la AMT en el Distrito Metropolitano de Quito.

5.5. ¿Qué información dispone el D.M.Q. con relación al flujo vehicular: cantidad de vehículos livianos o pesados que circulan por las vías que se van a monitorear, datos con cámaras, ¿radares y una base precisa y confiable de ocurrencia de accidentes de tránsito en las zonas de estudio?

En lo que respecta a mi área, se cuenta actualmente con información relacionada con las revisiones técnicas vehiculares realizadas en el DMQ, es importante mencionar que



los límites máximos para aprobar por ejemplo una prueba de gases no están estandarizados.

Actualmente el D.M.Q. quiere implementar en la ciudad la denominada “Tercera placa o Sistema de Identificación vehicular” que, consiste en la colocación de un chip identificativo en los vehículos, que permitirá que las tareas de control y restricción vehicular sean más eficientes y automatizadas.

Coordinaré con otras áreas respecto a la información que requieras para tu investigación.

5.6. Al respecto cual es la vía que cumple con la mayor parte de estas condiciones en la que se podría plantear un proyecto piloto para la reducción de los accidentes de tránsito en la ciudad de Quito.

La vía más controlada en el D.M.Q. es la Av. Simón Bolívar, en la misma anteriormente se encontraban instalados radares en los sectores de El Troje, Loma Puengasi, Universidad Internacional. Coordinaré con el área respectiva la información que requieras para tu investigación.

Sección 3: Implementación del SAT-H

5.7. ¿Cuáles considera que son los principales desafíos para la implementación de un SAT-H en Quito?

De parte de nuestra área se tiene previsto el proyecto de revisión técnica vehicular a largo plazo, para poder tener una actualización tecnológica con apoyo internacional de otros países que hayan implementado modelos de revisión vehicular exitosos.

Cierre:

- **Agradecimiento:**

Estimado German, te agradezco por la información, que sin lugar a dudas va a ser de mucha utilidad para la investigación que se está desarrollando

- **Próximos Pasos: ¿Hay algún material adicional que pueda revisar o si hay otras personas que deberían ser entrevistadas sobre este tema??**

Por supuesto, me comprometo a coordinar la información por voz requerida, me dejas tu correo electrónico y te enviare la información disponible; así mismo, coordinaré con otras áreas la posibilidad de alguna reunión.

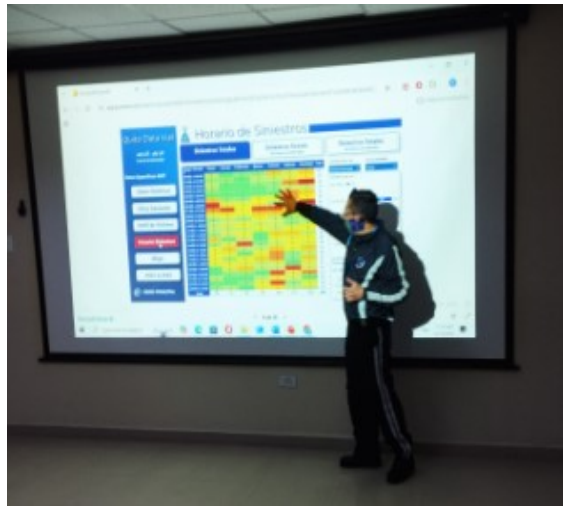


ANEXO 6

Reunión Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos del Municipio de Quito

Objetivo de la Entrevista: Explorar la experiencia y los aportes de funcionarios del Ilustre Municipio del Distrito Metropolitano de Quito de las áreas: dirección Metropolitana Gestión de Riesgos, Comité de Operaciones de Emergencia COE y Agencia Metropolitana de Tránsito AMT, Municipio de Quito, sobre la implementación de un sistema de alerta temprana hidrometeorológico (SAT-HM) para reducir los accidentes de tránsito, en la ciudad de Quito, Ecuador.

Participantes reunión: Alexis Jarrin - director del COE; Edwin Viracucha – Agencia Metropolitana de tránsito; Carlos Proaño – Centro de operaciones emergencia COE; Hernán Suarez - Dirección gestión riesgos.



Fecha de la Entrevista: jueves 13 de febrero: 10:15 – 12:00

Lugar de la reunión: Centro de Operaciones de Emergencias, parque de Itchimbia, segundo piso edificio ECU 911.

Introducción:

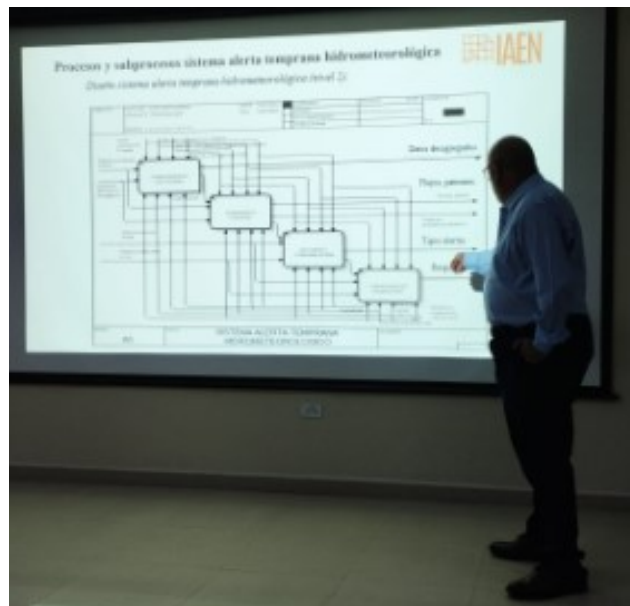
Alexis Jarrin - director del COE, da inicio a la Reunión agradece mi intervención y el interés del Municipio en esta investigación, y procede a realizar la presentación de los funcionarios de las siguientes entidades: Agencia Metropolitana de tránsito, Comité de Operaciones de Emergencia, dirección Metropolitana Gestión de Riesgos Municipio de Quito, presenta la excusa por motivos de fuerza mayor de la Ing. Jessica Jarrin directora Metropolitana de Gestión de Riesgos del Municipio de Quito, quien en su lugar envía a su delegado.



De mi parte, expresé mis agradecimientos por haberme atendido en este requerimiento y, procedí a realizar mi presentación como investigador y maestrante de post grado en el IAEN, recalcando mis competencias rectoras en las áreas de la meteorología, ciencias básicas, de la tierra y procesos.

A continuación expuse los aspectos relevantes de la investigación relacionada con la implementación de un sistema de alerta temprana hidrometeorológico para reducir los accidentes de tránsito en la ciudad de Quito – Ecuador, en la que fue posible demostrar la relación existente entre los factores relacionados con las variables clima y tránsito, en el que, se determinó una relación lineal que puede ser útil para hacer predicciones y en lo que respecta al coeficiente de determinación promedio el modelo sugirió una capacidad predictiva que podría beneficiarse de la inclusión de más variables.

Se explico el objetivo de esta reunión, cuyo propósito principal, consistió en determinar la información disponible que se puede proporcionar para la investigación en mención, por lo que, se requiere, determinar factores como: flujo vehicular: cantidad de vehículos livianos o pesados que circulan por las vías que se van a monitorear, disponer de datos con cámaras, radares y una base precisa y confiable de ocurrencia de accidentes de tránsito en las zonas de estudio.



Desarrollo de la reunión

Una vez realizadas las presentaciones se procedió a realizar las siguientes inquietudes:

Sección 1: Preguntas generales



6.1 ¿De parte del Distrito Metropolitano de Quito, se ha planteado el interés de implementar un sistema de alerta temprana hidrometeorológico para reducir los accidentes de tránsito en la ciudad de Quito y, construir algún modelo que permita predecir los accidentes de tránsito?

Los asistentes a la reunión, expresan su interés respecto a la implementación de un SAT para reducir los accidentes de tránsito en la ciudad de Quito, destacaron la influencia del clima en la ocurrencia de los accidentes de tránsito y a la vez miran con gran interés el contar con un modelo predictivo que permita predecir la ocurrencia de los accidentes de tránsito y a la vez reducir los accidentes de tránsito en la ciudad de Quito, considerando que un factor muy incidente es el exceso de velocidad.

6.2 ¿Ha habido iniciativas previas relacionadas con sistemas de alerta temprana en la ciudad? ¿Cuáles han sido los resultados?

Los delegados del Comité de Operaciones de Emergencia COE del Distrito Metropolitano de Quito manifiestan que, si bien no se ha implementado un sistema similar, sin embargo, el Municipio de Quito tiene la experiencia en la implementación de sistemas de alerta temprana, relacionados principalmente a deslizamientos, control de inundaciones, en áreas focalizadas.

Sección 2: Preguntas Específicas sobre Accidentes de Tránsito y su relación con el factor climático.

6.3. Según su conocimiento, ¿cómo han influido las condiciones climáticas en los accidentes de tránsito en Quito en los últimos cinco años?

El delegado de la Agencia Metropolitana de tránsito manifiesta que el factor climático, principalmente las lluvias intensas, son un factor de alta incidencia para la ocurrencia de los accidentes de tránsito.

Al respecto el representante del COE informa que, en el Distrito Metropolitano de Quito, existe actualmente una red aproximada de 32 estaciones meteorológicas, instaladas y operadas por varias instituciones municipales como la secretaria de ambiente, EMAAPS y el Instituto Nacional de Meteorología.

Con respecto al estudio presentado por el investigador respecto al realizado en la vía Guayllabamba, en la que se relaciona las variables clima y tránsito, respecto a esos datos, mencionan que los mismo son de jurisdicción de la policía nacional.

6.4. Datos de Accidentes: Se dispone de información histórica por horas, días y fechas de los accidentes de tránsito y si en ellos se incorpora también entre las causas el factor climático.



Al respecto Edwin Viracucha, funcionario de la Agencia Metropolitana de tránsito informa que actualmente la AMT tiene un repositorio en el que se puede obtener información detallada relacionada con: datos históricos, cifras generales, perfil de víctimas, horario de siniestros, siniestros por vía, tipo y causa probable, mapas por ubicación de siniestros y mapas de calor, toda esta información la disponen por día y hora.

Pone a nuestra disposición el siguiente portal:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiOWZkYTlmMzItYzJmZi00MzBjLWFlYzctZDUyMDYxYTUwOTMwIiwidCI6ImMxNTUzNDRILWNkMzEtNDhmMS05MzgzLWM1Yzc0YTZjOWI5ZCIsImMiOiR9&embedImagePlaceholder=true&pageName=f8b1c4cfe8e421c40510>

Respecto al factor climático, esta base no incluye este factor, sin embargo, esta información si está disponible en el área de estadística de la Agencia Metropolitana de Tránsito - AMT, la que podría ser solicitada directamente a la Dirección de la AMT, para permitir el acceso a los datos estadísticos; por lo que, se puede solicitar que a la data de línea se añada la condición climática.

6.5. ¿Qué información dispone el D.M.Q. con relación al flujo vehicular: cantidad de vehículos livianos o pesados que circulan por las vías que se van a monitorear, datos con cámaras, radares y una base precisa y confiable de ocurrencia de accidentes de tránsito en las zonas de estudio, datos de tráfico en tiempo real, características y estado de la carretera, datos desagregados comportamiento del conductor (tercera placa, peajes, radares ...), tráfico, flujos, velocidad, datos de infraestructura de señalización?

Edwin Viracucha, funcionario de la AMT informa que, si se dispone de la información requerida, principalmente en lo que respecta al flujo vehicular en tiempo real, hay cámaras y radares que pueden determinar el flujo vehicular.

La Velocidad media se puede calcular. En lo que respecta a la densidad del tráfico, distribución temporal (respecto a la información focalizada por área y tiempo), se puede calcular.

Respecto a los aspectos relacionados con: Geometría de la vía, Estado de la superficie de la carretera, presencia de obras viales o cierres de carriles, esta información está disponible en la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas – EPMOP.

Al respecto el delegado de la Dirección Metropolitana de gestión de riesgos del municipio menciona que también es importante considerar en la investigación el estado de los sumideros, peraltes, en razón que el agua influye mucho en la condición de los neumáticos.



6.6. Al respecto: ¿Cuál es la vía que cumple con la mayor parte de estas condiciones en la que se podría plantear un proyecto piloto para la reducción de los accidentes de tránsito en la ciudad de Quito?

Los participantes de la reunión coinciden en que la vía de mayor control y monitoreo, en la que ocurren la mayor cantidad de accidentes de tránsito es la Simón Bolívar y se considera la apropiada para ejecutar en ella un proyecto piloto SAT y modelo de predicción para reducir los accidentes de tránsito en la ciudad de Quito.

El delegado de la Agencia Metropolitana de Tránsito – AMT, reconoce principalmente seis puntos como los más propensos a accidentes en esta vía: La forestal, Loma de Puengasi; Ruta Viva, Universidad Internacional: Guápulo; Granados y Gualo, se puede inferir que los accidentes vehiculares generados en estas zonas se deben a varios factores, por ejemplo, la sinuosidad que presenta la avenida, las zonas donde se concentra un considerable flujo vehicular, factores climáticos, además del exceso de velocidad, puesto que los límites establecidos en la ley se sobrepasan con mayor probabilidad en los tramos rectos de la vía.

Al respecto el delegado de la Dirección de Riesgos, menciona también algunas falencias, en esta vía, principalmente lo que se relaciona con la falta de señalización e infraestructura vial (muchos sectores de la vía son propensas a inundación).

6.7. De considerarse la implementación de un sistema de alerta temprana hidrometeorológico incorporando un modelo de predicción respecto a la ocurrencia de accidente de tránsito en una vía piloto controlada en la ciudad de Quito, ¿Cuál sería la capacidad de Respuesta del D.M.Q.?

Los participantes de la reunión informan que el Municipio de Quito dispone los mecanismos necesarios para realizar una adecuada capacidad de respuesta ante la presencia de este tipo de siniestros, al respecto el COE dispone de un sistema de control y monitoreo muy detallado y preciso, que puede actuar ante la presencia de cualquier siniestro, incluso el sistema emite alertas oportunas que regulan la capacidad de respuesta.

Al respecto mencionan, que cuando llueve, las posibilidades de tener un siniestro de tránsito se incrementan en un 70 % con respecto a un día despejado, siendo una condición climática que dificulta la circulación y conducción de todos los vehículos, por lo expuesto, la Agencia Metropolitana de Tránsito (AMT) implementó el dispositivo “50 km es la clave”.

Al respecto se menciona que este es un mecanismo preventivo de siniestralidad que se ejecuta antes, durante y después de la caída de lluvia. El personal operativo, en patrulleros y motos, avanza a una velocidad de 50 km/h sobre la avenida Simón Bolívar y de esta manera los



ciudadanos se desplazan a la misma velocidad, de forma segura y se evitan embotellamientos, a causa de posibles siniestros de tránsito.

Sección 3: Implementación del SAT-H

6.8. ¿Cuáles considera que son los principales desafíos para la implementación de un SAT-H en Quito?

Se considera importante la incorporación de nuevas estaciones climáticas que puedan incidir en la vía de estudio, por lo que se mencionan las estaciones de El Troje (que se consideró en este estudio) y otras como: Puengasi y Bellavista. En mi caso sugiero también considerar instalar pluviómetros en las zonas de mayor ocurrencia de los accidentes de tránsito anteriormente mencionados.

A la vez se menciona incluir en la vía seleccionada como proyecto piloto, nuevos indicadores como la señalética, siendo necesario determinar el nivel de riesgo en cada punto.

Al respecto se menciona que es importante determinar los protocolos que deben establecerse para el monitoreo y alerta y fortalecer indicadores que se acoplen a las condiciones climáticas del lugar.

Se propone también formular un Modelo de gestión, que establezca principalmente, como automatizar las alertas, determinar puntos de monitoreo climático, automatizar alerta y los umbrales respectivos.

Cierre:

- **Agradecimiento:**

Estimados asistentes, les agradezco por la información, que sin lugar a dudas va a ser de mucha utilidad para la investigación que se está desarrollando

- **Próximos Pasos:**

Se menciona que el trabajo realizado en esta investigación, responde a un levantamiento del estado del arte y la capacidad del Distrito Metropolitano de Quito, respecto a la factibilidad de implementar un plan piloto que en este caso podría ser la Av. Simón Bolívar.

Conforme a la información levantada se demuestra que existen los elementos necesarios para esta propuesta, así como también la identificación de otros, que pueden fortalecer este sistema.

Se deja abierta la posibilidad de establecer otras reuniones y al futuro proponer una propuesta para la implementación de este SAT.