

Análisis del tráfico vehicular en la carretera Tecate – El Sauzal (2010 – 2022): Una aproximación estadística a los factores que lo determinan

Analysis of Vehicular Traffic on the Tecate – El Sauzal Highway (2010 – 2022): A Statistical Approach to the Factors that Determine it

Diana Laura Espinoza López¹ , Marco Antonio Montoya Alcaraz¹ , Aida López Guerrero¹ 

¹Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, México.

Cómo citar

D. L. Espinoza López, M. A. Montoya Alcaraz, and A. López Guerrero, "Análisis del tráfico vehicular en la carretera Tecate – El Sauzal (2010–2022): Una aproximación estadística a los factores que lo determinan," Ingeniería: ciencia, tecnología e innovación, vol. 13, 2026. <https://doi.org/10.26495/69nhvb92>

Información del artículo

Recibido: 06/05/2025
Aceptado: 20/01/2026
Publicado: 02/07/2026

Autor correspondencia

Diana Laura Espinoza López,
espinoza.diana18@uabc.edu.mx

Este artículo es de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la Licencia Creative Commons Attribution (CC BY)



RESUMEN: El presente trabajo analizó el tráfico vehicular en la carretera Tecate – El Sauzal, en Baja California, México, durante 2010 – 2022, con el objetivo de identificar patrones y variaciones en el Tráfico Diario Promedio Anual (TDPA). La investigación destacó la importancia de comprender la influencia de factores como el crecimiento poblacional, el desarrollo económico y la expansión de actividades influyen en el comportamiento del tráfico en un tramo clave para la movilidad regional. Se aplicaron técnicas estadísticas, incluyendo análisis de correlación, regresión lineal y análisis de varianza (ANOVA), para evaluar las relaciones entre el tiempo y el volumen del tráfico, además de diferenciar entre tramos y años. Se utilizaron los datos públicos de la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes (SICT), correspondientes a ocho tramos, para modelar tendencias y prever futuras variaciones, garantizando la validez mediante el análisis de supuestos estadísticos. Los resultados obtenidos indican un aumento notable en el volumen de tráfico a lo largo de los años, lo que resalta la importancia de realizar un seguimiento continuo de la infraestructura vial. Este seguimiento es esencial para asegurar que la carretera pueda soportar las demandas del tráfico actual. Además, el análisis de varianza reveló variaciones en el tráfico a lo largo del tiempo, lo que sugiere la necesidad de considerar diferentes patrones de uso en la gestión de la carretera. Estas técnicas permiten interpretar y proyectar tendencias para una gestión vial más eficiente. El volumen de tráfico en la carretera Tecate – El Sauzal ha crecido de manera significativa en los últimos años. Los métodos estadísticos utilizados brindan información valiosa para planificar futuras intervenciones y garantizar una movilidad sostenible en la región.

Palabras clave: Análisis de varianza, correlación, regresión lineal, tráfico, variabilidad.

ABSTRACT: The present study analyzed vehicular traffic on the Tecate–El Sauzal highway in Baja California, Mexico, during the period 2010–2022, with the aim of identifying patterns and variations in the Annual Average Daily Traffic (AADT). The research highlighted the importance of understanding the influence of factors such as population growth, economic development, and the expansion of activities on traffic behavior in a key section for regional mobility. Statistical techniques, including correlation analysis, linear regression, and analysis of variance (ANOVA), were applied to evaluate the relationships between time and traffic volume, as well as to differentiate between sections and years. Public data from the Secretariat of Infrastructure, Communications and Transportation (SICT), corresponding to eight segments, were used to model trends and forecast future variations, ensuring validity through the analysis of statistical assumptions. The results obtained indicate a significant increase in traffic volume over the years, underscoring the importance of continuous monitoring of road infrastructure. Such monitoring is essential to ensure that the highway can withstand current traffic demands. Furthermore, the variance analysis revealed variations in traffic over time, suggesting the need to consider different usage patterns in highway management. These techniques allow for the interpretation and projection of trends for more efficient road management. Traffic volume on the Tecate–El Sauzal highway has grown significantly in recent years. The statistical methods used provide valuable insights for planning future interventions and ensuring sustainable mobility in the region.

Keywords: Analysis of variance, correlation, lineal regression, traffic, variability.

1. INTRODUCCIÓN

El sistema vial de un país constituye una herramienta clave para el desarrollo social y económico, ya que permite satisfacer necesidades básicas como el acceso a la educación, el trabajo, la alimentación y la salud. Estas actividades representan pilares fundamentales para el bienestar de la población, por lo que resulta estratégico fortalecer y desarrollar la red de carreteras. Este medio de transporte no solo responde a la obligación de desplazamiento, sino que también garantiza la cobertura de servicios esenciales para los ciudadanos [1]. En este contexto, el presente estudio toma como caso de estudio ocho tramos específicos de la carretera Tecate – El Sauzal, se encuentra en el municipio de Ensenada, Baja California, México. Esta vialidad es significativa desde el punto de vista económico y turístico, dado que conecta áreas urbanas y rurales, así como rutas hacia playas y otros destinos turísticos en la región. Es una vía que en los últimos años ha cobrado gran relevancia debido al incremento en su uso tanto por parte de la población local como del turismo nacional e internacional. Esta autopista, con una longitud de 104.53 kilómetros, cuenta con infraestructura clave como terracerías, obras de drenaje, pavimento con concreto asfáltico, señalización y otras obras complementarias. El objetivo principal del análisis es proponer estrategias orientadas a mejorar la seguridad vial, así como potenciar su funcionalidad como eje de desarrollo económico y turístico en la región [2].

El análisis del tráfico vehicular es fundamental para la planificación y gestión de infraestructuras viales, especialmente en regiones donde el crecimiento demográfico y la expansión económica están en constante evolución. La infraestructura vial en México no solo es crucial para el transporte, también es un determinante clave en el desarrollo económico y social [3]. La carretera Tecate – El Sauzal (Figura 1), que conecta diversas comunidades y facilita el transporte de bienes y servicios, ha sido testigo de un aumento significativo en el volumen de tráfico en los últimos años. Este fenómeno exige una comprensión profunda de los factores que determinan las variaciones en el tráfico para garantizar un mantenimiento adecuado y una infraestructura que responda eficientemente a las necesidades actuales y futuras. La importancia de esta carretera no se enfoca solamente en impulsar el desarrollo económico y turístico de la región, sino especialmente por el gran atractivo que representa el Valle de Guadalupe debido a que la industria vinícola de la región tiene destacada presencia en el mundo entero [2]. El transporte por carretera desempeña un papel fundamental en el desarrollo económico de cualquier país, y en el caso de México, el estudio del tráfico vehicular se vuelve cada vez más relevante debido al constante crecimiento urbano y la expansión de las zonas metropolitanas [4]. Este aumento no solo afecta la movilidad, sino que también impacta la economía y la calidad de vida, especialmente en regiones como Baja California.

La carretera Tecate – El Sauzal es crucial para la economía local facilitando el transporte mercancía y personas además que cuenta con varios puntos turísticos cercanos lo que atraer visitantes a la región, el turismo contribuye significativamente a la economía local a través del gasto en hoteles, restaurantes y actividades recreativas. Entre las mejoras que se integran a este proyecto están en detonar el desarrollo turístico nacional e internacional; también aumentar la dinámica económica generada por la industria pesquera del puerto de Ensenada, así como el incremento de la tasa de crecimiento vehicular [5, 5]. Su importancia se traduce en la necesidad de un análisis del tráfico que permita optimizar su funcionamiento y garantizar la seguridad de los usuarios.

En la Figura 1 se observa la del tramo Tecate – El Sauzal, muestra el recorrido de la carretera en cuestión, destacando su extensión desde Tecate hasta El Sauzal, lo cual facilita entender la zona de estudio y el contexto espacial en el que se realiza el análisis.



Figura 1. Tramo Tecate - El Sauzal. Fuente: elaboración propia.

En este sentido el uso de técnicas estadísticas, como el análisis de correlación y regresión lineal, ofrece herramientas útiles para demostrar la complejidad de los patrones de tráfico. Estas metodologías ayudan a identificar tendencias y factores influyentes, lo que es esencial para la toma de decisiones adecuadas en la gestión de la infraestructura. Este trabajo tiene como objetivo analizar el tráfico de una carretera a través de técnicas estadísticas con el fin de identificar relaciones significativas entre el tráfico y otros factores que influyen en el mismo, además, establecer un precedente para análisis futuros que prioricen la eficiencia y sostenibilidad de la infraestructura vial en la región. Al proporcionar esta información puede llegar a mejorar la conectividad para las comunidades a las que sirve esta importante carretera.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Caso de estudio

La muestra para este estudio está compuesta por datos del Tráfico Diario Promedio Anual (TDPA) de la carretera Tecate – El Sauzal, recolectados desde el año 2010 – 2022 por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) [5]. Esta carretera se extiende desde el kilómetro 0 hasta el kilómetro 104.53, abarcando 8 tramos diferentes. Cada tramo ha sido seleccionado de manera que represente diversas condiciones de tráfico y características de la carretera, lo que permite un análisis integral del comportamiento del tráfico a lo largo del tiempo [6]. El estudio cumple con principios éticos fundamentales, garantizando la transparencia y la confidencialidad en el uso de los datos. Se han utilizado datos públicos proporcionados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, lo que elimina preocupaciones respecto a la privacidad y el consentimiento. Además, los resultados y conclusiones se presentarán de maneras que no comprometan la integridad de la información.

La Figura 2 representa los datos viales y muestra los ocho tramos, la figura identifica los puntos clave en cada tramo donde se origina o recibe un alto flujo vehicular. El tramo 1 (km 0) tiene como punto generador la ciudad de Tecate, es decir, un lugar o zona que genera o atrae una gran cantidad de viajes o desplazamientos. Estos puntos son clave, ya que originan o reciben un alto flujo vehicular o peatonal, lo que puede generar un mayor nivel de tráfico, especialmente por su cercanía al municipio. En el tramo 2 (km 27.8), el punto generador se localiza en el tramo derecho del Valle de las Palmas, donde se

encuentra la sede de la Universidad Autónoma de Baja California. El tramo 3 (km 48.8) tiene como punto generador la localidad de El Testerazo, que pertenece al municipio de Tecate. Esta comunidad cuenta con 424 habitantes y ocupa el lugar número 15 en población dentro del municipio. Para el tramo 4 (km 63.5), el punto generador se identifica como el tramo izquierdo de San Marcos, aunque no es una ubicación ampliamente reconocida. En el tramo 5 (km 74.8), el punto generador es El Porvenir Guadalupe, la localidad más poblada del municipio de Ensenada, con 1,806 habitantes. El tramo 6 (km 85) tiene como punto generador la zona de Las Palmas, que al igual que San Marcos, no es una ubicación ampliamente reconocida. El tramo 7 (km 93.9) tiene como punto generador San Antonio de las Minas, una comunidad rural que, según el censo de 2010, contaba con una población de 947 habitantes. Finalmente, el tramo 8 (km 104.53) tiene como punto generador El Sauzal, una localidad y delegación del municipio de Ensenada. En 2010 se registró una población aproximada de 8,859 habitantes, dedicados principalmente a la pesca, empaque de mariscos, cultivo de olivos y hotelería.

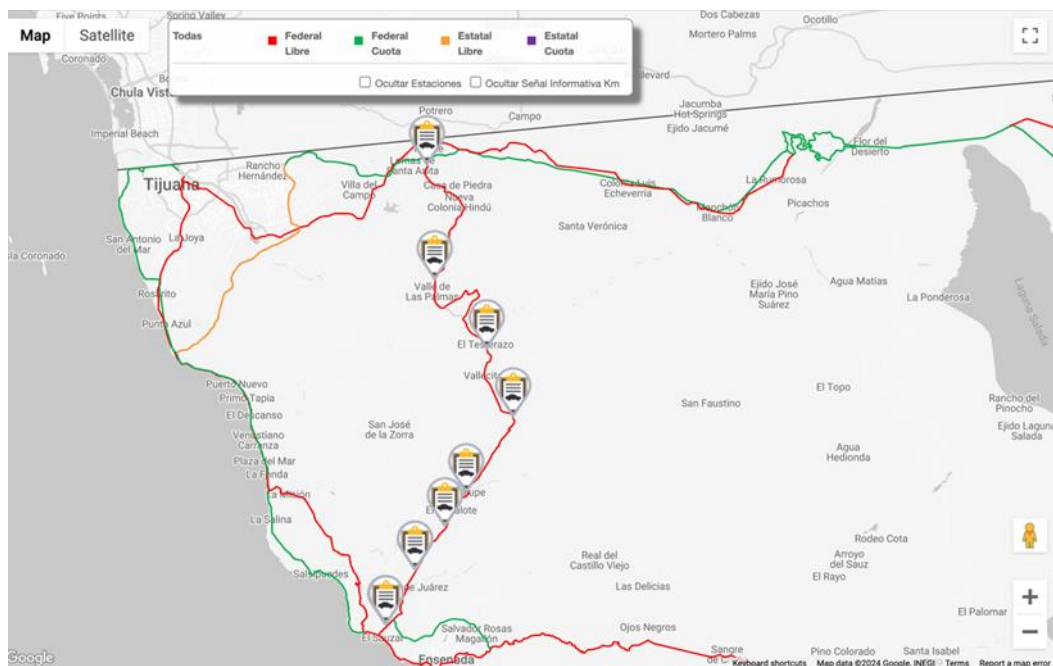


Figura 2. Estaciones de conteo de carretera Tecate - El Sauzal. Fuente: [7] .

2.2 Metodología

El enfoque de este estudio es cuantitativo, dado que se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos para establecer relaciones entre distintas variables. Este análisis permitió realizar conclusiones sobre la correlación entre el TDPA y otros factores, así como evaluar la variabilidad del tráfico a través del uso de procedimientos estadísticos. El método empleado incluye un análisis estadístico utilizando software especializado, este caso fue MINITAB, para manejar y analizar los datos obtenidos. Se utilizarán tres enfoques estadísticos principales: análisis de correlación, regresión lineal y ANOVA, para investigar las relaciones significativas entre las variables. Los datos del TDPA fueron recolectados a través de fuentes secundarias proporcionadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México. Se utilizó una técnica de recopilación de datos históricos que incluye registros de tráfico que permiten realizar un análisis longitudinal de la tendencia del tráfico en la carretera. La población del estudio está conformada por todos los registros de tráfico de los tramos considerados de la carretera Tecate – El Sauzal.

La muestra será representativa, obteniendo datos de tramos específicos que cubran la totalidad del recorrido desde el kilómetro 0 hasta el kilómetro 104.53. Los datos serán analizados utilizando técnicas de estadística descriptiva y analítica. Se comenzará con el análisis de correlación para identificar relaciones significativas entre el TDPA y otras

variables, posteriormente se aplicará la regresión lineal para modelar estas relaciones y hacer predicciones, y finalmente se realizará un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la variabilidad en el tráfico a través de los años y entre los diferentes tramos. Las variables estudiadas incluirán el TDPA, el año, las condiciones del tipo de carretera y otros factores relevantes que se consideren influyentes en el tráfico.

Variables estudiadas:

1. Variable dependiente: Tráfico Diario Promedio Anual (TDPA).
2. Variables independientes: Tiempo (años), tipo de carretera, factores climatológicos y patrones de uso del transporte.

Se aplicará una metodología estadística robusta que incluirá la verificación de supuestos relacionados con los análisis, como la normalidad y homogeneidad de la varianza, asegurando así la validez y confiabilidad de los resultados. El análisis de resultados se describirá utilizando valores de p, coeficientes de correlación y gráficos que apoyaran las conclusiones del estudio.

A continuación, se enlista la metodología que conducirá al siguiente estudio (Figura 03):



Figura 3. Diagrama metodología análisis estadístico. Fuente: elaboración propia.

La Figura 3 muestra el modelo empleado para analizar los datos o el esquema de la segmentación de la carretera, facilitando la visualización de cómo se estructuró el estudio.

2.2.1 Recopilación de datos

Se identificarán las fuentes de datos confiables, como la Secretaría de Comunicaciones y Transportes que proporciona datos sobre el Tráfico Diario Promedio Anual (TDPA) [8].

2.2.2 Análisis de correlación

El análisis de correlación permite identificar y medir la relación entre dos o más variables [9], para este caso, nos interesa saber cómo el TDPA de un tramo se correlaciona con el tiempo (años), esto nos ayuda a determinar si existe una relación significativa entre las variables, lo que indica que el tráfico ha aumentado de manera constante a lo largo del tiempo.

Se realizará un análisis preliminar de los datos utilizando estadísticas descriptivas para entender la distribución del TDPA. Se crearán gráficos como histogramas, diagramas de dispersión y graficas en líneas, para visualizar la tendencia del tráfico a lo largo de los años y observar patrones estacionales o anuales. Se utilizarán métodos estadísticos para evaluar cómo se relacionan el TDPA con otros factores, por ejemplo, correlación entre el TDPA y el tiempo. Se calculará el coeficiente de correlación de Pearson para medir la fuerza y dirección de la relación entre las variables, por último, se analizaron los resultados y se determinó si las correlaciones son estadísticamente significativas y que implicaciones pueden tener para el análisis de tráfico [10].

2.2.3 Regresión lineal

La regresión lineal permite modelar la relación entre una variable dependiente en este caso el TDPA y una o más variables independientes [9], por ejemplo, el tiempo representado en años. Se desarrollará un modelo de regresión lineal que relacione el TDPA (variable dependiente) con una o más variables independientes (como el tiempo). Se utilizará el modelo para prever el TDPA en años futuros, lo que es fundamental para planificar la infraestructura vial. Se evaluará la adecuación del modelo a través de la prueba de significancia (p-valor) y el análisis de residuos para garantizar que se cumplan los supuestos de la regresión.

2.2.4 Análisis de varianza

El análisis de varianza nos permite comparar la variabilidad del TDPA entre diferentes grupos [9], es decir para comparar el tráfico promedio de los diferentes tramos de la carretera (km 0 al km 104.54) o incluso en diferentes años. También nos permite comparar el tráfico entre los años y detectar tendencias o anomalías en los datos, como si un tráfico específico está experimentando un aumento desproporcionado. Se realizará un análisis de varianza (ANOVA) para comparar el TDPA entre diferentes segmentos de la carretera y a lo largo de los años. Se planteará la hipótesis nula (no hay diferencias significativas) y la hipótesis alternativa es decir hay diferencias significativas en el TDPA entre grupos. Se analizará el valor p para determinar si se rechaza o no la hipótesis nula y entender las implicaciones de los resultados en la variabilidad del tráfico.

2.2.5 Evidencia de los resultados

La evidencia de los resultados sugiere que el tráfico en la carretera Tecate – El Sauzal ha demostrado un aumento significativo y que la variabilidad en los datos podría reflejar diferentes comportamientos de uso a lo largo del tiempo en diferentes segmentos de la carretera.

3. RESULTADOS

3.1 Recopilación de datos

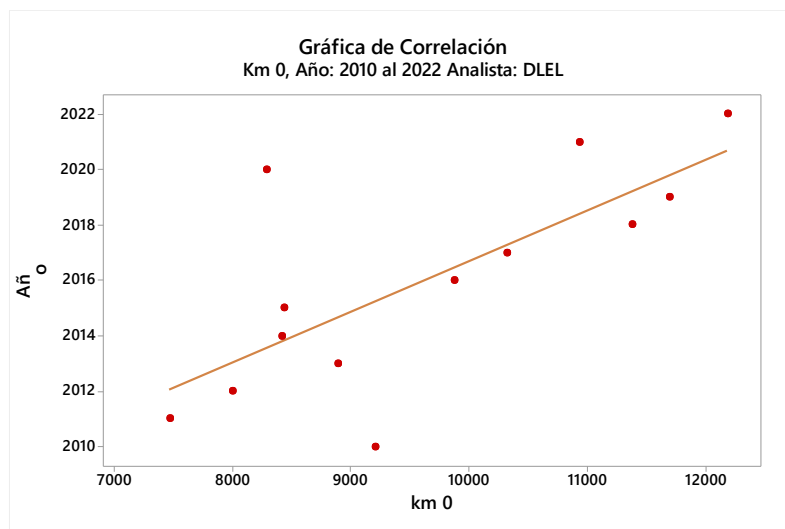
Recopilación de datos viales año 2010 al 2022 por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). La Tabla 1 presenta los valores del Tráfico Diario Promedio Anual (TDPA) de diferentes tramos de la carretera Tecate – El Sauzal durante esos años. Los datos están organizados por años y por kilómetros específicos de la carretera, cada celda contiene la cantidad de vehículos que transitan en promedio diario en ese tramo en un año particular. Esta tabla permite observar cómo han cambiado los volúmenes del tráfico en cada tramo a lo largo del tiempo, evidenciando tendencias de incremento o variación en el movimiento vehicular desde 2010 hasta 2022. Además, facilita el análisis comparativo entre diferentes tramos y años, proporcionando base sólida para aplicar análisis estadísticos como correlación, regresión y ANOVA para entender la evolución del tráfico en esta vía.

Tabla 1. Datos Viales 2010 – 2022. Fuente: elaboración propia.

	Año	km 0	km 27.8	km 48.8	km 63.5	km 74.8	km 85	km 93.9	km 104.53
1	2022	12180	4792	5156	4422	6671	9218	6423	6767
2	2021	10935	4666	4538	4099	6076	7783	5770	5362
3	2020	8284	3362	2629	2398	4336	4305	3882	4308
4	2019	11689	4507	3584	3470	6000	6079	5011	5862
5	2018	11373	4418	3366	3385	5721	6154	5179	5761
6	2017	10321	4628	3060	3553	5482	5531	4418	5107
7	2016	9872	4859	2849	3668	4720	5143	3740	4567
8	2015	8436	4913	2578	3913	4400	4740	3996	5238
9	2014	8414	4582	2490	3798	4298	4532	3592	4705
10	2013	8889	3663	2397	2135	4147	4181	3283	4607
11	2012	8003	3344	2283	2022	3922	3673	2926	4495
12	2011	7470	3137	2221	1905	3861	3559	2742	4292
13	2010	9204	4248	3279	2731	3761	4769	3185	3640

3.2 Análisis de correlación

Con base a las Figuras 4 y 5 de correlación para las variables de km (X) y Año (Y) se concluye que tiene una correlación positiva, con un valor de $r=.726$ para el km 0 y un valor de $r=.756$ para el km 104.53 (Tabla 2) esto nos dice que a medida que el tiempo avanza los km recorridos tienden a aumentar. Para este análisis se desea analizar como los kilómetros recorridos en una carretera a lo largo del tiempo entre los años 2010 al 2022. Como podemos observar ambos valores indican una correlación moderada-alta, lo que sugiere que el aumento en el tráfico en estos tramos tiene una relación bastante consistente con el paso del tiempo.

**Figura 4.** Gráfica de correlación Km 0, Año: 2010 al 2022. Fuente: elaboración propia.

Para ambos tramos el tráfico ha aumentado con el tiempo, puede tener varios puntos como la planificación de infraestructura, el aumento del tráfico puede señalar la necesidad de realizar mejoras o expansiones en la carretera, también el análisis de la demanda de transporte, un aumento en el tráfico también puede reflejar un incremento en la demanda del transporte en esa zona, lo cual podría deberse a factores como el crecimiento poblacional, el desarrollo económico de la región, o la expansión de zonas comerciales e industriales cercanas.

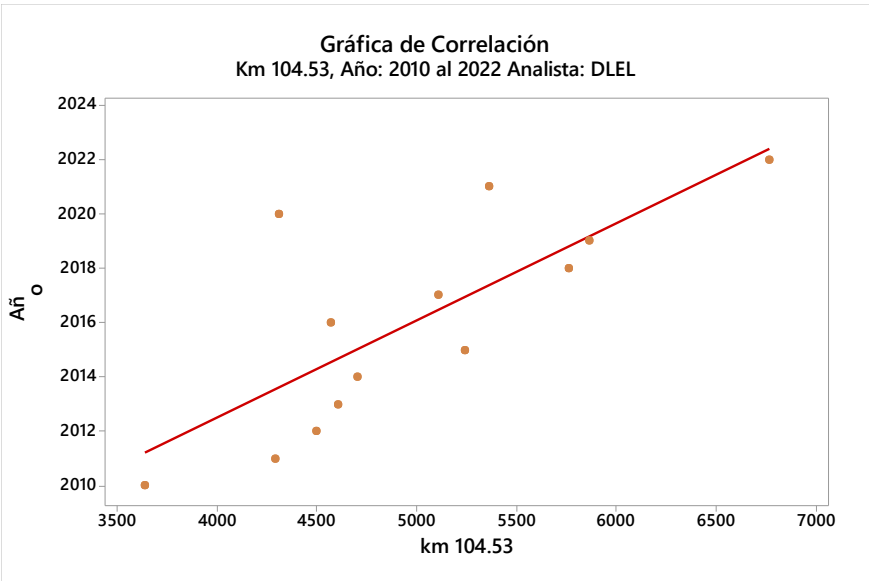


Figura 5. Gráfica de correlación km 104.53, Año: 2010 al 2022. Fuente: elaboración propia.

La Tabla 2 muestra los resultados de la correlación de Pearson entre el año y el volumen de tráfico en el km 0 de la carretera Tecate – El Sauzal, durante el periodo de 2010 a 2022. En la tabla indica un valor de $r=0.726$, lo cual refleja una correlación positiva moderada a fuerte entre el año y el tráfico en ese tramo. Además, el valor p es 0.005, lo que implica que la correlación es estadísticamente significativa.

Tabla 2 Correlación Año, km 0. Fuente: elaboración propia.

Correlación de Pearson	0.726
Valor p	0.005

La Tabla 3 muestra la correlación de Pearson entre el año y el tráfico (km 0 y km 104.53) es de 0.756, indica una correlación fuerte positiva. Esto significa que, en general, a medida que pasa el tiempo (2010 a 2022), el tráfico en esos tramos tiende a aumentar de manera lineal. El valor p asociado (0.003) indica que esta relación es estadísticamente significativa, ayuda a entender como una variable puede influir o estar asociada con otra.

Tabla 3. Tabla Correlación Año, km 104.53. Fuente: elaboración propia.

Correlación de Pearson	0.756
Valor p	0.003

3.3 Regresión Lineal

Las Figuras 6 y 7 muestran como el año está relacionado con los kilómetros en los tramos de la carretera. El intercepto es 1998 es decir que cuando el kilómetro recorrido (X) es igual a 0, el año estimado es de 1998, puede ser una referencia a la base de datos o el primer año en el que se comenzó a medir el tráfico en esa carretera.

Para el km 0, la pendiente es 0.001825, lo que significa que por cada kilómetro adicional recorrido (X), el año estimado aumenta 0.001825 años, o aproximadamente 0.67 días. Para el km 104.53, la pendiente es 0.003571, lo que implica que, por cada kilómetro adicional recorrido, el año estimado aumenta 0.003571 años, aproximadamente 1.30 días. Esto nos sugiere que, en promedio, el tráfico aumenta más rápidamente en el tramo más alejado de la carretera (km 104.53) que en el km 0. También podemos observar que en ambas ecuaciones la pendiente es positiva, lo que confirma que existe una relación directa entre los kilómetros recorridos y el año. A medida que aumentan los kilómetros recorridos en ambos tramos de la carretera, el tráfico también ha aumentado a lo largo de los años.

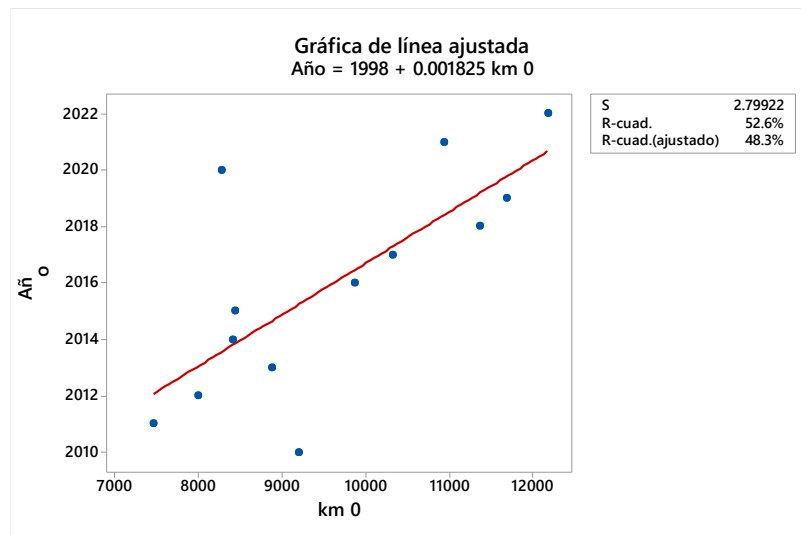


Figura 6. Gráfica de línea ajustada Año: $1998 + 0.001825 \text{ km } 0$. Fuente: elaboración propia.

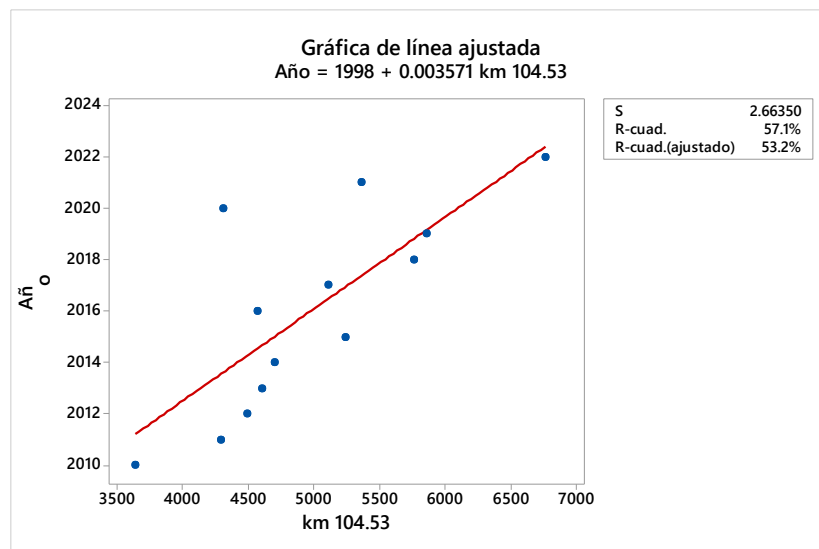


Figura 7. Gráfica de línea ajustada Año: $1998 + 0.003571 \text{ km } 104.53$. Fuente: elaboración propia.

La Figura 8 muestra como el año se relaciona con el volumen de tráfico en el km 0. La ecuación de la línea de regresión es "Año=1998+0.001825 km 0", lo que indica que, por cada kilómetro añadido en esta estación, el año estimado aumenta en 0.001825 años (aprox. 0.67 días). La pendiente positiva confirma que el tráfico ha ido en aumento con el tiempo en ese punto, y la alta R-cuadrada (52.6%) indica que más de la mitad de la variabilidad en el año puede explicarse por el km recorrido.

La Figura 9 muestra de manera similar, la relación en el km 104.53, con la ecuación "Año = 1998 + 0.003571 km 104.53". La pendiente más positiva respecto a la anterior sugiere que la tasa de aumento del tráfico en ese punto es mayor que en el km 0, con aprox. 1.30 días de incremento por cada km adicional. La R-cuadrada es mayor (57.12%), lo que refleja una mejor explicación del ascenso del año en relación con los kilómetros recorridos en ese tramo.

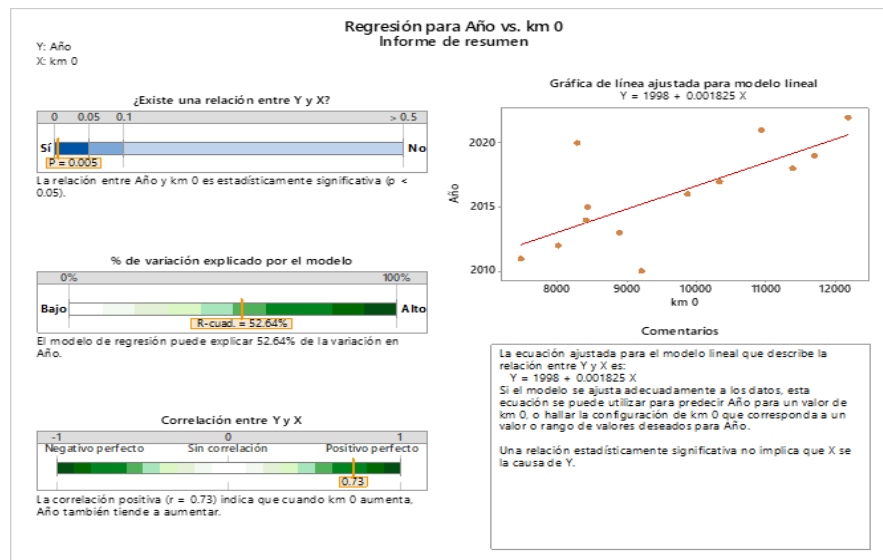


Figura 8 Regresión para Año vs. km 0. Fuente: elaboración propia.

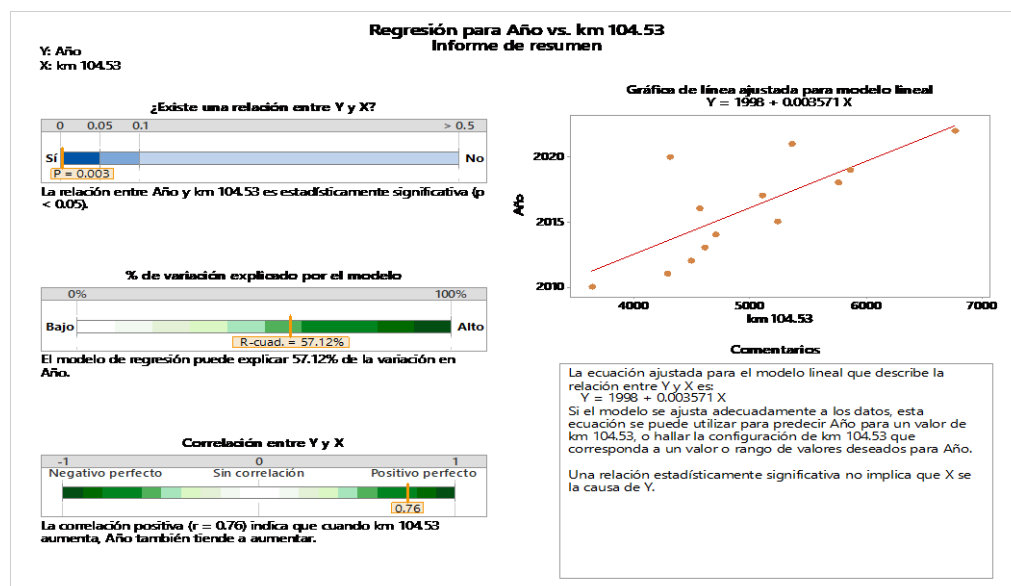


Figura 9. Regresión para Año vs. km 104.53. Fuente: elaboración propia.

3.4 Análisis de Varianza (ANOVA)

En este caso estamos utilizando ANOVA para analizar la variación en los datos del TDPA de los tramos de la carretera Tecate – El Sauzal a lo largo de los años (2010 – 2022). El valor de $p=0.000$ implica que la probabilidad de que los resultados observados hayan ocurrido bajo la hipótesis nula, es decir rechazamos la hipótesis nula y concluimos que si existen diferencias significativas en los datos. La desviación estándar del error (S) refleja la variabilidad de los datos alrededor de la media de los grupos. Un valor de $S = 1112.93$ es relativamente alto, lo que indica que hay una gran dispersión en los datos. Esto significa que los valores de tráfico para los diferentes tramos y años están bastante dispersos alrededor de las medias. En otras palabras, hay una variabilidad considerable en el tráfico, lo cual es natural en muchos conjuntos de datos reales. Este valor también sugiere que no todos los grupos (años o tramos) tienen valores similares de tráfico, lo que es coherente con el valor de p muy bajo (0.000), indicando que las medias de los grupos no son iguales.

Las Tablas 4 y 5 muestran el análisis de las diferencias en el tráfico (TDPA) de los diferentes tramos de la carretera Tecate – El Sauzal a lo largo de los años. El valor de $p=0.000$ índice

que hay diferencias estadísticamente significativas en los datos de tráfico entre los distintos grupos por ejemplo diferentes tramos o años. Además, el análisis revela que la desviación estándar del error ($S=1112.93$) es relativamente alta, lo que sugiere que hay una gran dispersión en los datos del tráfico alrededor de las medias de los grupos. Significa que el tráfico no es uniforme y presenta variaciones considerables en diferentes tramos y momentos del tiempo.

Tabla 4. análisis de Varianza. Fuente: elaboración propia.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	7	384600448	54942921	44.36	0.000
Error	96	118907307	1238618		
Total	103	503507755			

Tabla 5. Resumen del modelo. Fuente. elaboración propia.

S	R-cuad.
1112.93	76.38%
	74.66%
	72.28%

La Tabla 6 presenta un gráfico de intervalos de confianza del 95% para la media del Tráfico Diario Promedio Anual (TDPA) en diferentes tramos de la carretera, específicamente en los puntos kilométricos km 0 y km 27.8. Los intervalos de confianza indican el rango dentro del cual se espera que caiga la media verdadera del tráfico en la población, con un nivel de confianza del 95%, es decir, hay un 95% de probabilidad de que la media real del tráfico en esos tramos se encuentre dentro de los intervalos mostrados en el gráfico [11].

Tabla 6. Medias y Desv. Estandar agrupada. Fuente: elaboración propia.

Medias				
Factor	N	Media	Desv. Est.	IC de 95%
km 0	13	9621	1549	(9008, 10233)
km 27.8	13	4240	634	(3627, 4853)
km 48.8	13	3110	890	(2497, 3723)
km 63.5	13	3192	850	(2580, 3805)
km 74.8	13	4877	983	(4264, 5489)
km 85	13	5359	1633	(4746, 5972)
km 93.9	13	4165	1133	(3552, 4778)
km 104.53	13	4978	824	(4365, 5590)

Desv. Est. agrupada = 1112.93

La Figura 10 muestra los intervalos del 95% para la media del Tráfico Diario Promedio Anual (TDPA) en esos puntos kilométricos, ilustra la estimación de la media del tráfico en cada tramo, los límites inferior y superior de los intervalos de confianza, lo que indica la incertidumbre en esas estimaciones. Los intervalos proporcionan una medida de la confiabilidad de las medias estimadas en cada tramo. Al comparar estos intervalos en los diferentes tramos, se puede analizar si las medias del tráfico difieren significativamente o si son estadísticamente similares [12].

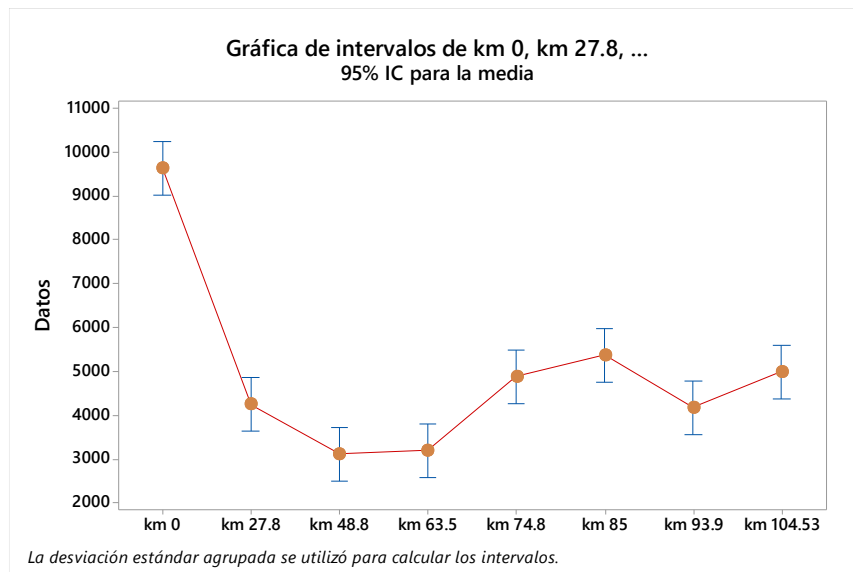


Figura 10. Gráfica de intervalos de km0, km 27.8. Fuente: elaboración propia.

La Figura 11 muestra la distribución de datos específicos de tráfico a nivel individual para los tramos en los kilómetros 0 y 27.8 de la carretera. Es decir, presenta los valores numéricos del Tráfico Diario Promedio Anual (TDPA) registrados en diferentes puntos o días (según corresponda) dentro de esos tramos, permite observar cómo varían esos valores a lo largo del tiempo o en diferentes mediciones. Esta gráfica ayuda a identificar patrones, dispersión y posibles anomalías en los datos de tráfico para estos segmentos específicos, facilitando un análisis detallado de la variabilidad en el comportamiento del tráfico en los puntos seleccionados de la carretera [13].

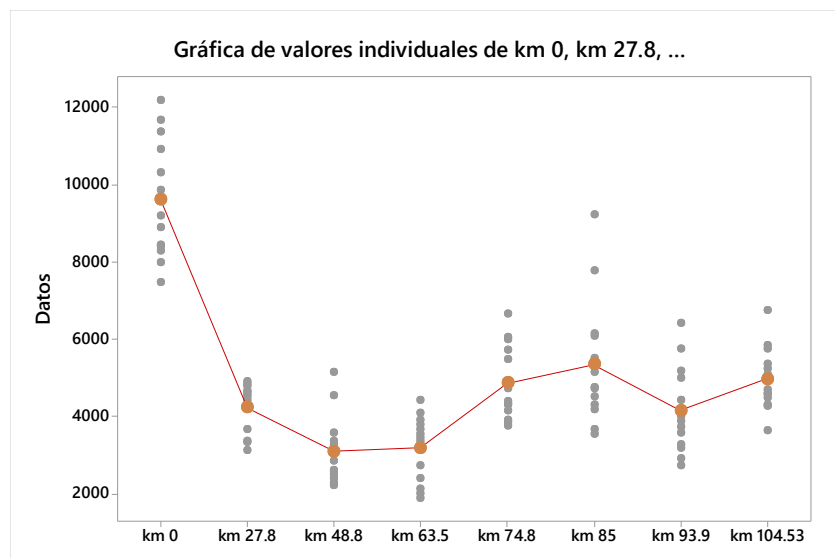


Figura 11. Gráfica de valores individuales de km0, km 27.8. Fuente: elaboración propia.

La Figura 12 muestra la distribución de los valores individuales del Tráfico Diario Promedio Anual (TDPA) en diferentes tramos de la carretera, específicamente en los puntos de interés, esta gráfica permite visualizar la mediana, los cuartiles, los valores atípicos en los datos de cada tramo, facilitando la comprensión de la variabilidad y la concentración del tráfico en estos puntos específicos [14].

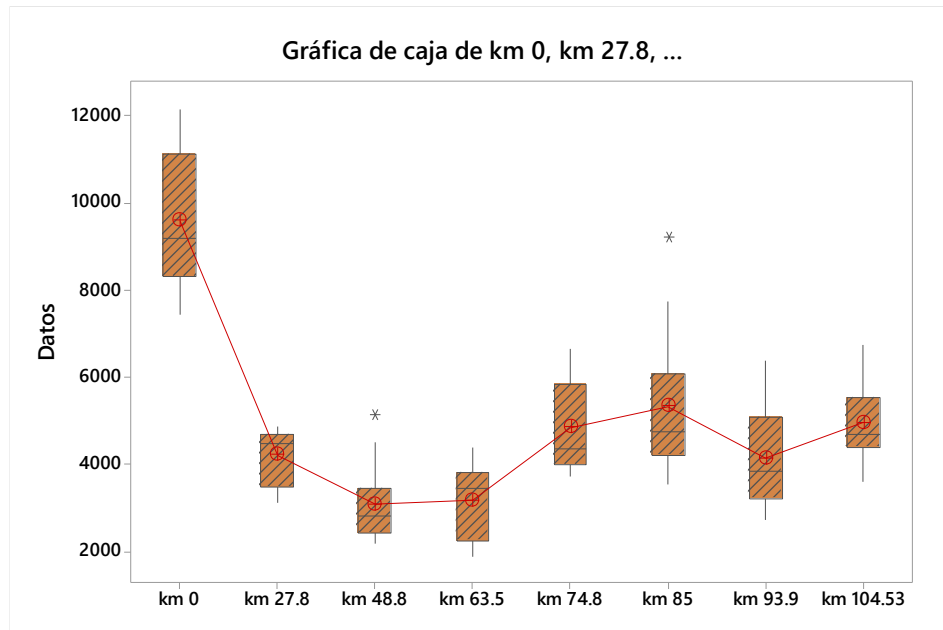


Figura 12. Gráfica de caja de km 0, km 27.8. Fuente: elaboración propia.

La Figura 13 muestra la distribución del tráfico en diferentes segmentos de la carretera. El histograma permite visualizar la dispersión y la frecuencia de los valores del tráfico en dichos kilómetros, evidenciando si los datos tienden a concentrarse en ciertos rangos o si hay una varianza significativa en los niveles de tráfico en esas ubicaciones específicas.

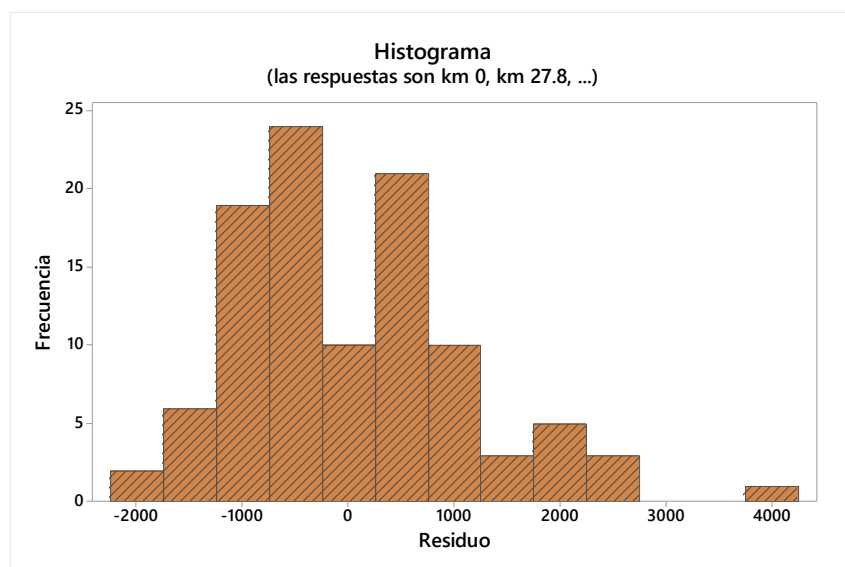


Figura 13. Histograma km 0, km 27.8. Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio sobre el Tráfico Diario Promedio Anual (TDPA) en la carretera Tecate – El Sauzal indican un incremento constante en el tráfico a lo largo de los años. Este incremento es consistente en los diferentes tramos de la carretera, mostrando correlaciones positivas con el tiempo. Estos hallazgos sugieren que el crecimiento de la infraestructura y el aumento en la población de la región han influido significativamente en el volumen del tráfico. Al analizar la correlación entre los años y el TDPA en los tramos seleccionados, se observa que las correlaciones son altas, lo que respalda la hipótesis de que, a medida que el tiempo avanza, también lo hace la necesidad

de mejorar y expandir la infraestructura vial. Sin embargo, es importante señalar que los resultados también revelan una considerable variabilidad en el tráfico, como lo indica la desviación estándar alta observada. Esta diversidad en los datos sugiere que hay otros factores influyentes, como cambios en el uso del suelo, modificaciones en las políticas del transporte y el desarrollo económico local, que podrían no haber sido completamente integrados en este análisis. El análisis estadístico proporciona una serie de herramientas y métodos que permiten no solo obtener y procesar datos del tráfico, sino también interpretar, visualizar y predecir tendencias futuras, lo cual es vital para la planificación y gestión eficaz de la infraestructura vial. A través de estos métodos, logras transformar datos crudos en información útil que fundamente la toma de decisiones.

La utilización de histogramas para analizar la distribución del tráfico vehicular, son herramientas efectivas para identificar patrones y variaciones en los volúmenes de tráfico en diferentes tramos y periodos. Otros análisis destacan el uso complementario de herramientas estadísticas y visuales para comprender la variabilidad del tráfico, muestran la variabilidad en el flujo de tráfico que puede estar relacionada con cambios estacionales, eventos imprevistos y patrones diarios [15]- [17].

La Tabla 6 describe un resumen de los hallazgos que se obtuvieron a partir del análisis para proporcionar un panorama completo sobre las tendencias y variaciones del tráfico.

Tabla 6 Tabla de resultados. Fuente: elaboración propia.

Aspecto Analizado		Descripción	Sugerencia
Tendencias del TDPA		Se identificó un aumento constante en el Tráfico Diario Promedio Anual (TDPA) desde 2010 hasta el 2022.	Sugiere la necesidad de mejorar la infraestructura vial para soportar el crecimiento de tráfico.
Relación entre variables		Se observó una correlación significativa entre el TDPA y el tiempo (años).	Indica que a medida que pasa el tiempo, el tráfico tiende a aumentar.
Predicciones del tráfico		La regresión lineal permitió prever el TDPA para años futuros, brindando estimaciones concretas.	Facilita la planificación de futuros proyectos de mantenimiento y expansión de carreteras.
Variabilidad en el tráfico		El análisis ANOVA mostró diferencias significativas en el TDPA entre distintos tramos y años.	Sostiene que algunas áreas pueden tener más tráfico que otras depende de que se encuentre cerca de cada tramo.
Dispersión de datos		La desviación estándar fue alta, indicando gran variabilidad en el tráfico.	La variabilidad puede complicar la toma de decisiones, se deben considerar factores locales al planificar mejores.
Impacto económico	desarrollo	El volumen del tráfico puede considerarse un reflejo del movimiento económico de la región, suele estar asociado al crecimiento en actividades productivas y comerciales.	Diseñar estrategias de movilidad que potencien la competitividad económica del estado, asegurando un balance entre eficiencia de transporte y sostenibilidad ambiental.
Implicaciones ambientales		Un crecimiento vehicular no planificado puede agravar la contaminación y los impactos ambientales negativos.	Fomentar políticas de movilidad sostenible: transporte público eficiente, uso de energías limpias y programas de mitigación ambiental ligados a la planeación de carreteras.

5. CONCLUSIONES

Este proyecto se ha enfocado en el análisis del Tráfico Diario Promedio Anual (TDPA) en la carretera Tecate – El Sauzal, con el objetivo de evaluar el impacto del tiempo en el volumen del tráfico y su relación con diversos factores. A lo largo del proceso de investigación, se lograron cumplir los objetivos propuestos, brindando una visión clara del comportamiento del tráfico en la región durante un periodo analizado. En primer lugar, se estableció que existe una relación positiva y significativa entre el incremento de los años y el aumento del TDPA, lo que sugiere una tendencia continua hacia el crecimiento del tráfico en esta carretera. Este hallazgo respalda la necesidad de una planificación y

rehabilitación adecuada de la infraestructura vial para afrontar la creciente demanda. Los análisis de correlación y regresión revelaron que no solo el tiempo influye en el tráfico, sino que también existen otros factores que han contribuido a esta variabilidad, aunque no fueron explorados en su totalidad en este estudio, esto subraya la complejidad de los factores que afectan el tráfico.

El análisis de varianza (ANOVA) proporcionó una comprensión más profunda de las diferencias en el TDPA entre los diferentes tramos de la carretera y a través de los años, indicando que las condiciones de tráfico no son homogéneas y requieren atención diferente según la ubicación y el contexto. Existen otros factores que han contribuido a esta variabilidad, es decir entre las razones que pueden explicar por qué ciertos tramos de la carretera presentan más tráfico que otros, como por ejemplo la ubicación geográfica, algunos tramos pueden estar más cerca de áreas urbanas o centros de actividad económica, lo que atrae un mayor número de vehículos. La accesibilidad, tramos que ofrecen acceso más directo a destinos importantes, como escuelas, hospitales o centros comerciales, tienden a tener más tráfico. Otra razón es la condición de la vía, existen tramos en mejor estado de mantenimiento y con pavimento de alta calidad pueden incitar a más conductores a utilizarlos mientras que en tramos deteriorados puede haber menor tráfico. Los desvíos y obras también pueden influir, es decir, los cierres temporales de tramos por mantenimiento o construcción pueden redirigir el tráfico hacia otros tramos, incrementando la carga vehicular en esos segmentos. Al integrar el análisis estadístico con datos viales, transformamos cifras en decisiones estratégicas, garantizando no solo la seguridad y eficiencia de nuestras carreteras, sino también un futuro más sostenible para la movilidad en nuestra región.

6. ACERCA DEL ARTÍCULO

Conflictos de interés:

Los autores declaran no tener conflictos de interés relacionados con este estudio.

Contribución de autoría:

Diana Laura Espinoza López.: software, redacción – revisión, preparación del borrador original, investigación.

Marco Antonio Montoya Alcaraz: supervisión, edición, administración del proyecto.

Aida López Guerrero: redacción – revisión, edición, validación. Todos los autores han leído y aprobado la versión final del manuscrito para su publicación.

Agradecimientos:

Los autores agradecen sinceramente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California por el apoyo brindado en el desarrollo de este estudio.

Financiación:

La presente investigación no recibió financiación externa.

REFERENCIAS

- [1] A. Guzmán Boza, "La red vial es imprescindible para el desarrollo y crecimiento de un país," *Universidad de Piura*, 5. Dec. 2015. [Online]. Available: <https://www.udep.edu.pe/hoy/2015/12/la-red-vial-es-imprescindible-para-el-desarrollo-y-crecimiento-de-un-pais/>
- [2] A. Padrés Pesqueira, "Moderniza SCT carretera Tecate - El Sauzal," *Infobaja*, 12. Apr. 2017. [Online]. Available: <https://www.infobaja.info/moderniza-sct-carretera-tecate-el-sauzal/>

- [3] J. A. Flores Rangel, "Infraestructura carretera: construcción, financiamiento y resistencia en México y América Latina," *Transporte y Territorio*, no. 13, pp. 122–148, Apr. 2015. <https://www.redalyc.org/pdf/3330/333042522007.pdf>
- [4] Asociación Mundial de la Carretera, "Importancia de la conservación de carreteras," AIPCR/PIARC, París, Francia, 2014R02ES, 2014. [Online]. Available: [URL](#)
- [5] E. Castañeda, "Reclasificación de carretera Tecate-El Sauzal desfogará tránsito en Bulevar 2000," *El Imparcial*, 24. Nov. 2023. [Online]. Available: https://www.elimparcial.com/tij/tijuana/2023/11/24/reclasificacion-de-carretera-tecate-el-sauzal-desfogara-transito-en-bulevar-2000/#google_vignette
- [6] T. Granados, "Modernizan carretera Tecate-El Sauzal en Baja California . Obtenido de Encuentro de transporte y logistica," *Grupo T21*, 3. Aug. 2012. [Online]. Available: : <https://t21.com.mx/terrestre-2012-08-03-modernizan-carretera-tecate-sauzal-baja-california/>
- [7] Gobierno de México, "Datos viales," *micrs.sct.gob*. Accessed: Nov. 20, 2025. [Online]. Available: <https://micrs.sct.gob.mx/infraestructura/direccion-general-de-servicios-tecnicos/datos-viales/>
- [8] Secretaría de Comunicaciones y Transportes, "Datos Viales 2025," *routedev.mx*. [Online]. Available: <http://datosviales2020.routedev.mx/main>
- [9] W. Mendenhall, R. J. Beaver, and B. M. Beaver, *Introduction to probability and statistics*. South Melbourne, VIC, Australia: Cengage Learning, 2008. https://observatorio.dadep.gov.co/sites/default/files/documentos/li16_introduccion_a_la_probabilidad.pdf
- [10] S. Abdollahi, H. Moradi, S. Pourmanafi, R. Modarres, and S. Fakheran, "Multivariate analysis of dynamic correlations between urban form and air pollution: Implications for sustainable urban planning," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 130, p. 106637, Jul. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106637>
- [11] R. Candia, and G. Caiozzi, "Confidence intervals," *Rev. Med. Chil.*, vol. 133, no. 9, pp. 1111–1115, Sep. 2005. <http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872005000900017>
- [12] J. Rivera, "Metodología para la obtención del transito medio diario anual (TMDA) por conteos diarios," *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, vol. 19 no. 2, pp. 192-204, Jul.-Dec. 2007. <https://ribuni.uni.edu.ni/5996/1/document-11.pdf>
- [13] X. Ma, Y.-J. Wu, and Y. Wang, "DRIVE Net: E-science transportation platform for data sharing, visualization, modeling, and analysis," *Transp. Res. Rec.*, vol. 2215, no. 1, pp. 37–49, Jan. 2011. <https://doi.org/10.3141/2215-04>
- [14] A. Smiti, "A critical overview of outlier detection methods," *Comput. Sci. Rev.*, vol. 38, p. 100306, Nov. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100306>
- [15] X. Chen et al., "Traffic flow prediction by an ensemble framework with data denoising and deep learning model," *Physica A*, vol. 565, p. 125574, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125574>
- [16] Pueblos América, "Pueblos de México," *pueblosamerica.com*, 2017. [Online]. Available: <https://mexico.pueblosamerica.com/creditos-datos.php>
- [17] Y. Ineira, and R. Aliphath, "Infraestructura para el desarrollo productivo de México: ¿Gastar más o invertir mejor?," *Economía Informa*, p. 448, pp. 1-12, Sep.-Oct. 2024. https://www.economia.unam.mx/assets/pdfs/econoinfo/448/03Yoli_Ineira.pdf