

# Neumáticos de larga duración en buses de transporte para reducción de emisiones de carbono

## Long-lasting tires on transport buses for reduction of carbon emissions

RUIZ, Jonathan A. [1](#)

Recibido: 10/05/2019 • Aprobado: 07/08/2019 • Publicado 26/08/2019

### Contenido

[1. Introducción](#)

[2. Metodología](#)

[3. Resultados](#)

[4. Conclusiones](#)

[Referencias bibliográficas](#)

#### RESUMEN:

Los neumáticos fuera de uso afectan de forma considerable al ecosistema. Para reducir este efecto en Ecuador, se realizó un estudio estadístico descriptivo e inferencial en 476 buses de transporte donde se mantenía una carga promedio constante, con similares condiciones de manejo y agrupados por rutas de transporte. Usando las marcas recomendadas, luego de tipificar las mayores duraciones evidenciadas y fallas más comunes de las llantas, se lograría reducir de 87 a 65 toneladas las emisiones de carbono por año.

**Palabras clave:** Emisiones de carbono, neumáticos fuera de uso, buses de transporte

#### ABSTRACT:

Discarded tires affect the ecosystem considerably. To reduce this effect in Ecuador, a descriptive and inferential statistical study was carried out on 476 transport buses where a constant average load was maintained, with similar handling conditions and grouped by transport routes. Using the recommended brands, after typifying the longest durations evidenced and most common faults of the tires, it would be possible to reduce carbon emissions by 87 to 65 tons per year.

**Keywords:** Carbon emissions, discarded tires, transport buses

## 1. Introducción

Las cooperativas ecuatorianas de transporte urbano y regional tienen un control limitado del adecuado uso de neumáticos en los buses afiliados a ellas, lo que puede disminuir el tiempo de vida útil de las llantas por desgaste (Gavilanes Triviño, 2013; Ramos, Alguacil, & López, 2011). De acuerdo con diferentes estudios, el desgaste de neumáticos es una fuente importante de generación de carbono, además de otros componentes potencialmente tóxicos para el medioambiente (Aatmeeyata & Sharma, 2010).

En el Ecuador, en promedio se ha importado anualmente alrededor de 182655 neumáticos para buses entre los años 2011 y 2017. Este promedio puede llegar a provocar alrededor de 87 toneladas métricas (Ton) de emisiones de carbono (C); cantidades estimadas a partir de los promedios de importaciones de llantas (ver Tabla 1) en dólares americanos (\$). Luego, se consideran valores representativos entre \$ 400 y \$ 600 cada llanta de bus, con una masa media de 60 kilogramos (Kg) por unidad (und) y, se despeja el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que liberan estos neumáticos al quemarse o degradarse, con un peso molecular de 0,044 Kg/mol (International Trade Centre, 2018; Mott, 2015; Serway & Vuille, 2012).

**Tabla 1**  
Monto de importaciones de  
neumáticos en Ecuador

Importaciones	Llantas en general	Llantas para buses
<b>Valor en 2011</b>	\$ 223.263.000	\$ 106.564.000
<b>Valor en 2012</b>	\$ 246.510.000	\$ 115.933.000
<b>Valor en 2013</b>	\$ 214.014.000	\$ 104.395.000
<b>Valor en 2014</b>	\$ 220.950.000	\$ 102.994.000
<b>Valor en 2015</b>	\$ 174.755.000	\$ 74.974.000

<b>Valor en 2016</b>	\$ 123.083.000	\$ 43.425.000
<b>Valor en 2017</b>	\$ 180.081.000	\$ 65.437.000

Fuente: (International Trade Centre, 2018)

En el Ecuador, a partir del 2010 se han venido tomando medidas para controlar la contaminación del aire y menoscabar los impactos en las zonas urbanas y las diferentes áreas ecológicas protegidas en este país. Una de las iniciativas propuestas por el Ministerio del Ambiente fue el Plan Nacional de Calidad del Aire, con el que se pretende alcanzar una calidad ambiental adecuada de aire, contribuyendo a mejorar la vida de la población (Ministerio del Ambiente, 2017). Para el presente estudio, una medida útil para reducir las emisiones contaminantes generadas por los neumáticos sería justamente minimizar su consumo, incentivando el uso en los buses de transporte de neumáticos con una vida útil lo más prolongada posible. Luego, tendría que considerarse el reencauchado de llantas para reducir el consumo de crudo de petróleo necesario para fabricar cada neumático.

En Ecuador, aproximadamente el 30% de las llantas se aprovechan para reencauche. Es decir, desde el año 2018 tendremos más 128000 neumáticos que se acumulen como basura luego de que han terminado su vida útil, y esta cifra aumenta dado el continuo crecimiento del parque automotor nacional. Respecto a esto, el gobierno del Ecuador se encuentra impulsando un proyecto denominado Sistema Ecuatoriano de Gestión Integral de Neumáticos Usados (Seginus). Sus delegados se encargarán de la recopilación, transporte, almacenamiento y disposición final adecuada de los neumáticos, con el aporte de los consumidores de un dólar por cada llanta nueva de vehículo liviano, lo que aplica para esta gestión de Neumáticos Fuera de Uso (NFU). No obstante, esto no incluye a los neumáticos de buses (El Universo, 2018; International Trade Centre, 2018).

## 1.1. Presentación del estudio específico

En conciencia de lo referenciado, muchas empresas de servicio de transporte ecuatorianas han implementado técnicas de control de desgaste de neumáticos de caucho. El fin es reducir costos en este rubro, además de evitar el descarte prematuro de las llantas y aplicar bandas de reencauche en algunos casos. Esto tiene limitados alcances, ya que no se evalúa adecuadamente el tipo de neumático más apropiado en función de la presión de inflado, carga, velocidad promedio y condiciones de terreno a las que será expuesto. En general, no existe un sistema de control estándar diseñado para monitorear el desgaste de los neumáticos de buses de transporte, tomando en cuenta las variaciones en las condiciones de operación que se presenten mientras se encuentran instalados. Además, para este sector es preciso desarrollar técnicas de manejo de NFU para controlar la contaminación que generan al medioambiente (El Universo, 2018; Rodovalho & de Tomi, 2017).

En sí, se requiere determinar procedimientos que permitirían reducir las emisiones contaminantes que producen los neumáticos desechados por los buses de transporte. Se establecen aquellos factores controlables más representativos que afectan el tiempo de vida útil de las llantas aplicadas. Con tal finalidad, en el presente artículo se empieza identificando las principales marcas de neumáticos utilizados por los buses de transporte y las fallas más comunes que se producen en estos. Se valoran las marcas de mayor duración, tanto de llantas nuevas como de reencauchadas y se determina la cantidad de emisiones contaminantes que se podrían evitar (Isan, 2017; Taghavifar & Mardani, 2013).

Para recoger los datos para el estudio se ha seleccionado la provincia de El Oro por ser una de las regiones con la mayor diversidad climática y condiciones de terreno del Ecuador. Aquí se albergan muchas zonas ecológicas protegidas que estarían siendo afectadas por la contaminación derivada de las emisiones de carbono. Para regularizar los datos a obtener para el presente estudio, los vehículos en donde operan los neumáticos analizados deben mantener una carga promedio constante, con los mismos choferes o condiciones de manejo y en las mismas rutas de transporte. El uso de registros para el control de desgaste de neumáticos de buses de transporte es el trasfondo de esta investigación (Isan, 2017; Ministerio de Industrias y Productividad, 2018; Noblecilla G., Ortíz B., Ruiz C., Encalada L., & Ordoñez C., 2016).

La finalidad es determinar la incidencia del uso de neumáticos de larga duración (según tipo o marca de llanta) para contribuir a minimizar las emisiones contaminantes derivados de la salida de uso de estos neumáticos. Luego se podrán establecer los elementos de control que permitan reducir de forma significativa la generación de neumáticos desechados por los buses de transporte. Para esto, se propone en primera instancia discriminar los factores controlables más representativos que afectan el tiempo de vida útil de los neumáticos aplicados en buses de transporte. Estos serían la presión de inflado, carga soportada y condiciones de operación. Respecto de esta última se podrían controlar la velocidad promedio, el índice de velocidad y diseño de corona aplicado, adaptando esto al tipo de carretera donde circularán los buses y a las fallas más comunes a las que están expuestos en función del kilometraje recorrido (Rodovalho & de Tomi, 2017).

## 2. Metodología

El supuesto base es que la implementación de un control de factores que afectan la vida útil de los neumáticos de los buses de transporte contribuirá a reducir la cantidad de llantas desechadas y su consecuente emisión contaminante. En virtud de lo cual se estima que la incorrecta presión de inflado, sobrecarga y malas condiciones de operación de las llantas reducen su tiempo de vida útil. Y sobre las condiciones de operación y su efecto es que se ha planteado la presente metodología, resaltando los indicadores de tipo de carretera, fallas más comunes y kilometraje recorrido. Con esto se busca establecer el beneficio medioambiental de usar marcas de larga duración (Roveri, Pepe, & Carcaterra, 2016).

El tipo de investigación planteado es no experimental, aplicando un diseño longitudinal de tendencia con un registro histórico de cada elemento analizado. La población la componen los neumáticos instalados en las cooperativas de transporte que circulan en Machala y la Provincia de El Oro, Ecuador. La muestra es probabilística para determinar el número mínimo de neumáticos a considerar para obtener datos relevantes, calculado a partir de:

$$n = \frac{N \cdot p \cdot q \cdot z^2}{(N - 1) \cdot \varepsilon^2 + p \cdot q \cdot z^2} \quad (1)$$

Relación matemática que sirve para determinar muestras estadísticas para poblaciones normales finitas, cuando no existen datos para determinar desviaciones estándar. Donde,  $n$  es la muestra por calcular,  $N$  es la población de 182655 neumáticos,  $p$  es el porcentaje de población de interés,  $q$  la de no interés, ambas estimadas al 50%,  $z$  es un coeficiente estándar del nivel de confianza que se desea dar a la muestra, para el 95% de confianza corresponde un valor de 1.96 aproximadamente,  $\varepsilon$  es el error estimado máximo permisible para el estudio, establecido en 5%. Con esto en (1) resulta  $n = 384$  aproximado como muestra mínima. No obstante, se lograron obtener 476 registros de un total de 20 cooperativas de transporte de la provincia de El Oro, lo cual disminuye considerablemente el error estimado. En sí, se estaría trabajando con una muestra representativa de la población, centrándonos en los buses de transporte que utilicen neumáticos de medidas radiales aro 22.5 (Montgomery, Peck, & Vining, 2012; Ortiz Berrezueta, Noblecilla Grunauer, Ruiz Carrillo, Ordoñez Contreras, & Crespo Garcia, 2017).

Consideramos varias cooperativas de transporte urbano como Multioro S.A., Ciudad de Machala Cia. Ltda., Oroconti S.A., Jolumbo C.A., Pasaje Especial y, Cooperativa 6 de Octubre. Además de cooperativas de transporte regional o provincial tales como Centinela del Sur, Cooperativa Azuay, Transportes Guabo, Cooperativa TAC y, Piñas Interprovincial. También se incluyen buses algunos de recorrido interprovincial o de larga distancia como la Cooperativa Loja Internacional, CIFA Internacional, Rutas Orenses Cia. Ltda., Cooperativa de Transportes Occidentales y, Panamericana, entre otras que circulan en carreteras mixtas (asfalto y tierra), como OroExpress S.A., Interprovincial Pasaje y, Victoria S.A.

## 2.1. Procedimiento de análisis

La cantidad de emisiones contaminantes generadas por los neumáticos desechados por los buses, promediando los años de 2011 a 2017, se obtendrá con la relación:

$$m_{Nt} = \frac{\sum_{i=2011}^{2017} \frac{Im_i}{P_{emin}} + \sum_{i=2011}^{2017} \frac{Im_i}{P_{emax}}}{Dif} \times m_N \quad (2)$$

Donde se denomina: Valores de importaciones en un periodo ( $Im$ ) en dólares americanos (\$)/año; Precio menor estimado ( $Pemin$ ) en \$/und; Precio mayor estimado ( $Pemax$ ) en \$/und; Diferencia entre periodos ( $Dif$ ) en años; Masa media de un neumático ( $mN$ ) en kilogramos (Kg); Masa total de llantas ( $mNt$ ) adquiridas en Kg/año; Masa del dióxido de carbono ( $mCO_2$ ) en Kg; Masa del carbono ( $mC$ ); Volumen de  $CO_2$  ( $VCO_2$ ) en Litros (Lt); Densidad del petróleo ( $\rho P$ ) en Kg/Lt.

Para el análisis de registros, la técnica por utilizar será exploratoria y estadística descriptiva e inferencial, con ayuda del software IBM SPSS 23 versión de prueba. El instrumento de investigación incluía los elementos descritos en la Tabla 2. Con los que adicionalmente se estima el kilometraje recorrido por los neumáticos nuevos y por los reencauchados instalados en las diferentes cooperativas o compañías de transporte. El valor del kilometraje recorrido se estima multiplicando los registros numéricos del kilometraje y la frecuencia de cambio de aceite (convertido en meses) y la frecuencia de cambio de las llantas, tanto para las nuevas como para las reencauchadas.

**Tabla 2**  
Descripción de los elementos que incluyen el instrumento de investigación

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
<b>Cooperativa o compañía</b>	Razón social de la Cooperativa o Compañía
<b>Nombre responsable del bus</b>	Apellidos y Nombres
<b>Marca – bus</b>	Marca del bus
<b>Modelo – bus</b>	Modelo del bus
<b>Año fabricación</b>	Año de fabricación del bus
<b>Placa</b>	Placa del bus
<b>Km de cambio de aceite</b>	Cada cuántos Km cambia el aceite del motor
<b>Frecuencia cambio de aceite</b>	Cada cuántos días cambia el aceite del motor
<b>Tipo de carretera</b>	Mixto / Pavimentado larga distancia / Regional / Urbano
<b>Marca de neumáticos más utilizada</b>	Marcas de neumático nuevo que más utiliza.
<b>Frecuencia cambio neumáticos nuevos</b>	Cada cuánto tiempo (meses) cambia los neumáticos nuevos
<b>Fallas más comunes neumáticos nuevos</b>	Fallas más comunes que se le presentan en neumáticos nuevos. Respuesta múltiple

<b>Usa reencauche</b>	Sí / No
<b>Razón de uso o no uso de reencauche</b>	Por qué usa (o no usa) servicio de reencauche
<b>Marca de reencauche más utilizada</b>	Marca de reencauche que más utiliza. Respuesta múltiple
<b>Frecuencia cambio neumáticos reencauchados</b>	Cuánto tiempo (meses) le duran los neumáticos reencauchados
<b>Fallas más comunes neumáticos reencauchados</b>	Fallas más comunes que se presentan en los neumáticos reencauchados. Respuesta múltiple

Fuente: Tesis doctoral del autor

En tipos de carretera, se entiende por urbana las vías pavimentadas o asfaltadas, donde los buses hacen continuos arranques y paradas por desplazarse dentro de una ciudad. La carretera mixta se define como aquellas con tramos de asfalto y caminos de tierra. El tipo regional es aquella que tiene escasos tramos vía de tierra y muchos extensos de asfalto o pavimento, pero los puntos de parada y formas de las carreteras impiden desarrollar altas velocidades. Y, las vías pavimentadas de larga distancia permiten desarrollar velocidades relativamente altas por la considerable distancia entre paradas y formas poco sinuosas de los caminos (Bridgestone, 2015; H.B. Plus Bandamatic, 2018; Renovallanta, 2017a, 2017b; Ruzi, 2012).

Primero se explica la relación matemática que se usó para calcular la cantidad de emisiones contaminantes que generan los neumáticos al quemarse o degradarse. Luego se determina de forma general datos como las marcas de neumáticos nuevos y reencauchados más utilizadas, las fallas más comunes de estos, las razones de uso o no uso del servicio de reencauche. Además, todos los elementos demográficos establecidos mediante tablas de frecuencia, tablas cruzadas o gráficos de frecuencia obtenidas con el software IBM SPSS.

Entonces pasamos a visualizar los kilometrajes recorridos (en total) por los neumáticos según tipo de carretera en que circularon y las fallas más comunes que estos presentaron. Para lo cual, se aplicaron tablas de contingencia para conjuntos de respuesta múltiple; con lo que se busca identificar la mayor duración en cada tipo de carretera (grupos). A la par, se verificó si esta agrupación establece diferencias significativas en cada caso, usando una prueba de hipótesis no paramétrica, puesto que los datos son nominales u ordinales (Medina Moral, 2002; D. C. Montgomery, 2017). En el caso del kilometraje, los valores eran de escala discreta, pero se realizó una distribución de frecuencias con una amplitud de clase de 15000 Km de diferencia con ayuda del mismo software estadístico mencionado anteriormente. Las hipótesis siguieron este modelo:

- Hipótesis nula: No existe diferencia entre los grupos. Significancia mayor al 5%.
- Hipótesis alterna: Si hay diferencia entre los grupos. Significancia igual o menor al 5 %

Esta información se contrastó con los kilometrajes de duración más frecuentes según el grupo. Además, se consideró de utilidad verificar el mayor kilometraje registrado de acuerdo con la marca y grupo, para luego, en este mismo sentido, analizar las fallas más comunes por marca de neumático. Finalmente, todos estos contrastes permiten determinar la cantidad de emisiones contaminantes que se pueden evitar sólo usando las marcas con mayor duración en kilometraje o vida útil efectiva. (Kunnappillil Madhusudhanan, Corno, Arat, & Holweg, 2016; Liu, Li, Yang, Ji, & Wu, 2017).

### 3. Resultados

A partir de la Tabla 1, y con  $m_N = 60 \text{ Kg}$ ,  $P_{\text{emin}} = \$ 400$ ,  $P_{\text{emax}} = \$ 600$ ,  $Dif = 6 \text{ años}$ , tendríamos la cantidad de emisiones contaminantes generadas por los neumáticos:

$$m_{Nt} = 10959321,4 \frac{[Kg]}{[año]}$$

Luego, aplicando las siguientes relaciones y equivalencias:

1 Ton = 22727 moles de CO<sub>2</sub> (peso molecular = 0,044 Kg/mol)

1 mol de CO<sub>2</sub> = 22,4 Lt

1 Kg de CO<sub>2</sub> = 0,2727 Kg de C

Densidad de petróleo (como compuesto pesado) relativa = 0.906 Kg/Lt.

Podemos definir que:

$$m_{CO_2} = V_{CO_2} \times \rho_P \quad (3)$$

Entonces:

$$\frac{m_{CO_2}}{[Ton]} = \left( 22727 \frac{[mol]}{[Ton]} \right) \left( 22,4 \frac{[Lt]}{[mol]} \right) \times \left( 0,906 \frac{[Kg]}{[Lt]} \right) = 461230,8 \frac{[Kg]_{CO_2}}{[Ton]}$$

Por tanto, las emisiones de carbono que producirían los neumáticos desechados ( $E_c$ ) se establecería por la siguiente relación:

$$E_c = \frac{m_{Nt}}{\frac{m_c}{Ton}} \quad (4)$$

$$E_c = \frac{10959321,4 \frac{[Kg]}{[año]}}{\left( 461230,8 \frac{[Kg]_{CO_2}}{[Ton]} \right) \left( 0,2727 \frac{[Kg]_C}{[Kg]_{CO_2}} \right)} \approx 87 \frac{[Ton]}{[año]}$$

(Generalitat De Catalunya & Comisión Interdepartamental del Cambio Climático, 2011).

En relación a los datos receptados de los buses de las cooperativas de transporte urbano y regional de la provincia de El Oro se determinó que, para los 476 buses, con diferentes cantidades de registros (receptados por respuestas múltiples), para definir las marcas de neumáticos nuevos y reencauchados más utilizadas, además de las fallas más comunes tanto en llantas nuevas como en reencauchadas, primero se debe verificar si las opciones a nivel general son representativas de los grupos por tipo de carretera. Esto se comprobó con una prueba de hipótesis no paramétrica H de Kruskal-Wallis; respecto a las fallas más comunes, los resultados fueron:

Hipótesis: La distribución de *Fallas más comunes en neumáticos* es la misma entre las categorías de *Tipo de carretera*. Nivel de significancia 0.05. Resultado 0.282. Se acepta.

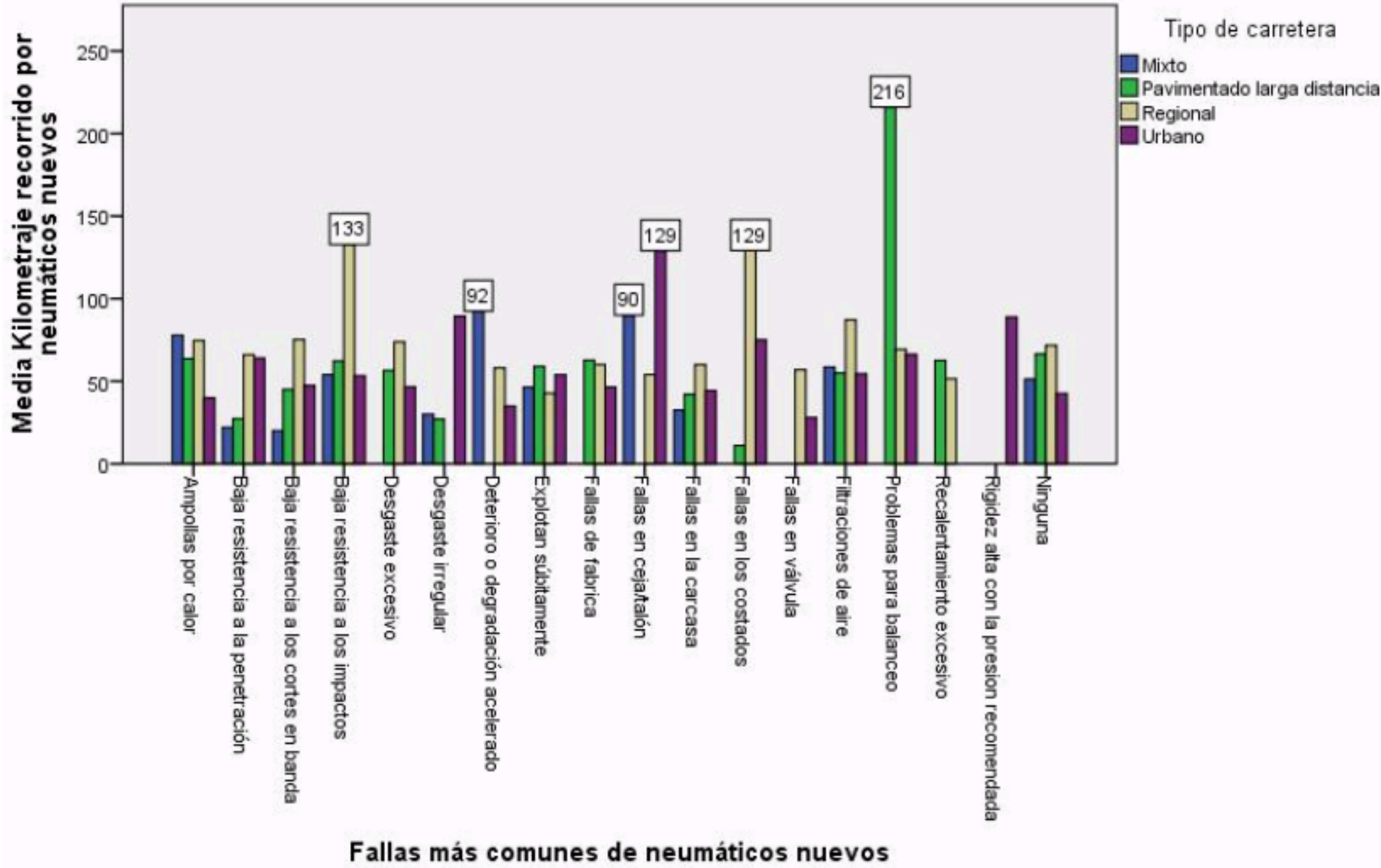
Hipótesis: La distribución de *Fallas más comunes en reencauchado* es la misma entre las categorías de *Tipo de carretera*. Nivel de significancia 0.05. Resultado 0.000. Se rechaza.

Entonces, únicamente en los tipos de fallas más comunes en neumáticos reencauchados hay diferencias significativas entre los grupos de tipo de carretera y, por tanto, los resultados aquí obtenidos tienen variaciones marcadas entre sí (Anexo 1). Para este caso se resalta una opción por grupo. Para las nuevas se presentan dos elementos por grupo. Estas relaciones se contrastaron con los kilometrajes medios recorridos, presentando dos elementos o máximo tres con variaciones bajas. Los registros constan en los Gráficos 1 y 2.

En llantas nuevas, para aplicación carretera pavimentada larga distancia la duración más alta es de 216000 Km presentado problemas para balanceo. En aplicación regional, la duración máxima promedia en 131000 Km con fallas en los costados y baja resistencia a los impactos. En carretera mixta, el kilometraje máximo oscila en alrededor de 91000 con fallas en ceja/talón y deterioro o degradación acelerado. Y, en buses urbanos la duración máxima registrada es de 129000 Km presentando fallas en ceja/talón.

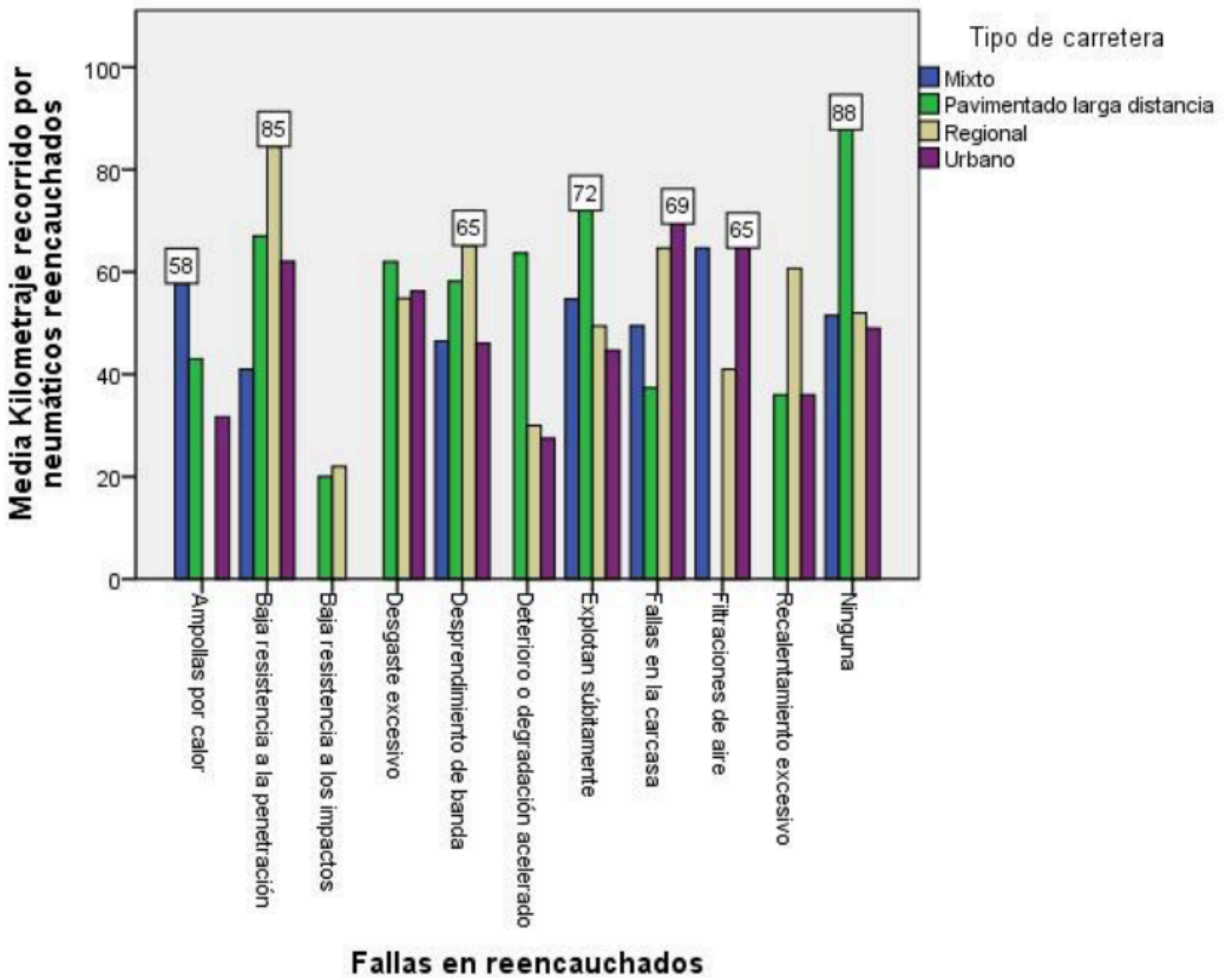
#### Gráfico 1

Kilometraje recorrido por los neumáticos nuevos según sus Fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan



**Gráfico 2**

Kilometraje recorrido por los neumáticos reencauchados según sus Fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan

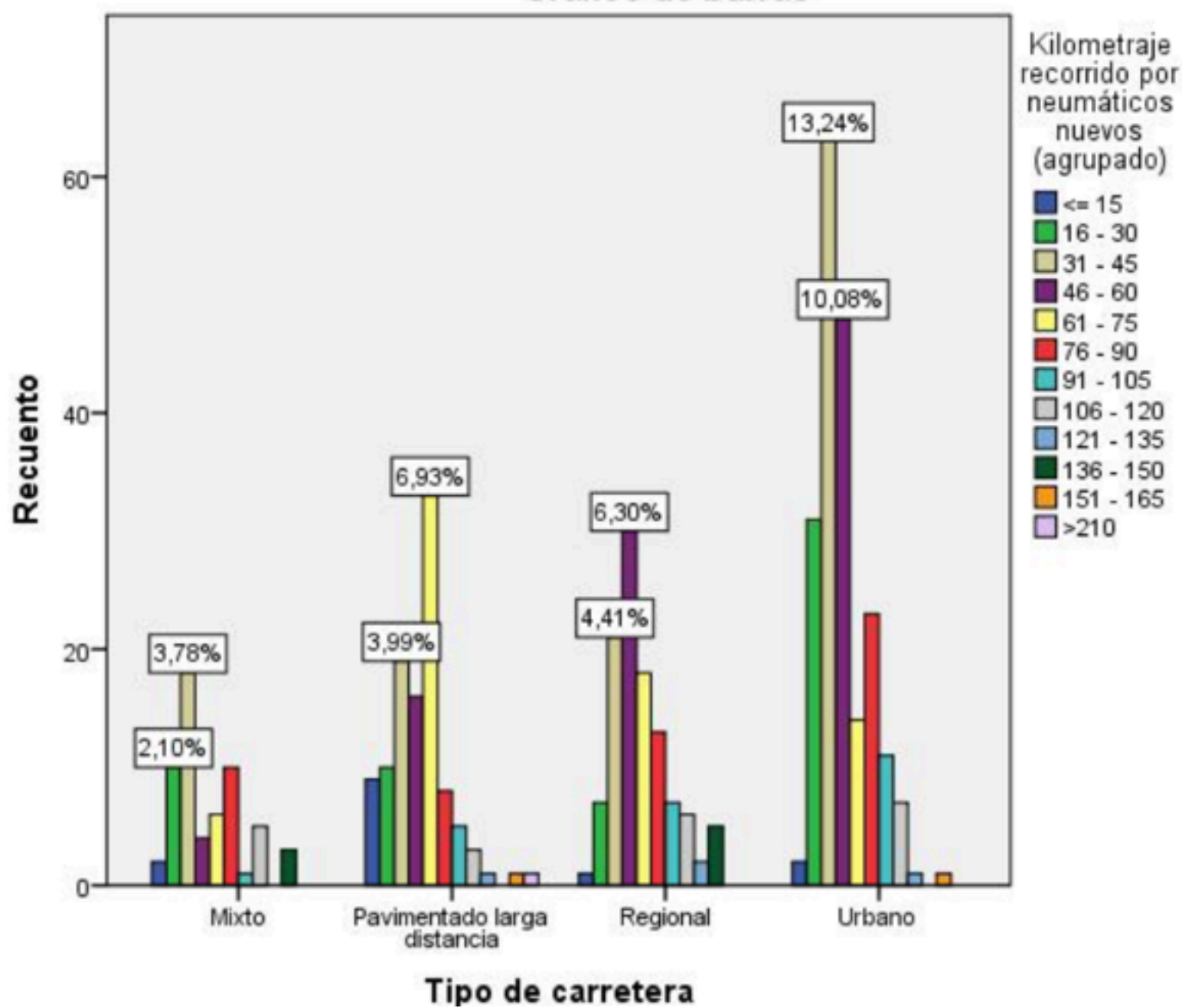


En llantas reencauchadas, para aplicación carretera pavimentada larga distancia la duración más alta esta entre 72000 y 88000 Km registrando ninguna falla o que explotan de forma súbita supuestamente. En aplicación regional, la duración máxima promedio entre 65000 y 85000 Km con problemas de desprendimiento de banda o de baja resistencia a la penetración de objetos en la banda de rodamiento. En carretera mixta, el kilometraje máximo oscila entre 58000 y 65000 Km registrando filtraciones de aire y formación de ampollas por calor generado por rodaje. Y, en buses urbanos la duración máxima registrada es de entre 65000 y 69000 Km presentando fallas en la carcasa y filtraciones de aire.

Los kilometrajes promedio recorridos por los neumáticos nuevos según el tipo de carretera se representan en el Gráfico 3 con porcentajes relativos al total de registros tomados con el instrumento de investigación. Se aplica una prueba de hipótesis de Kruskal-Wallis para muestras independientes para verificar diferencias entre grupos, según la cual:

Hipótesis: La distribución de *Kilometraje recorrido por neumáticos nuevos* (agrupado) es la misma entre las categorías de *Tipo de carretera*. Nivel de significancia 0.05. Resultado 0.004. Se rechaza.

**Gráfico 3**  
Kilometraje recorrido por neumáticos nuevos según tipo de carretera en que circulan

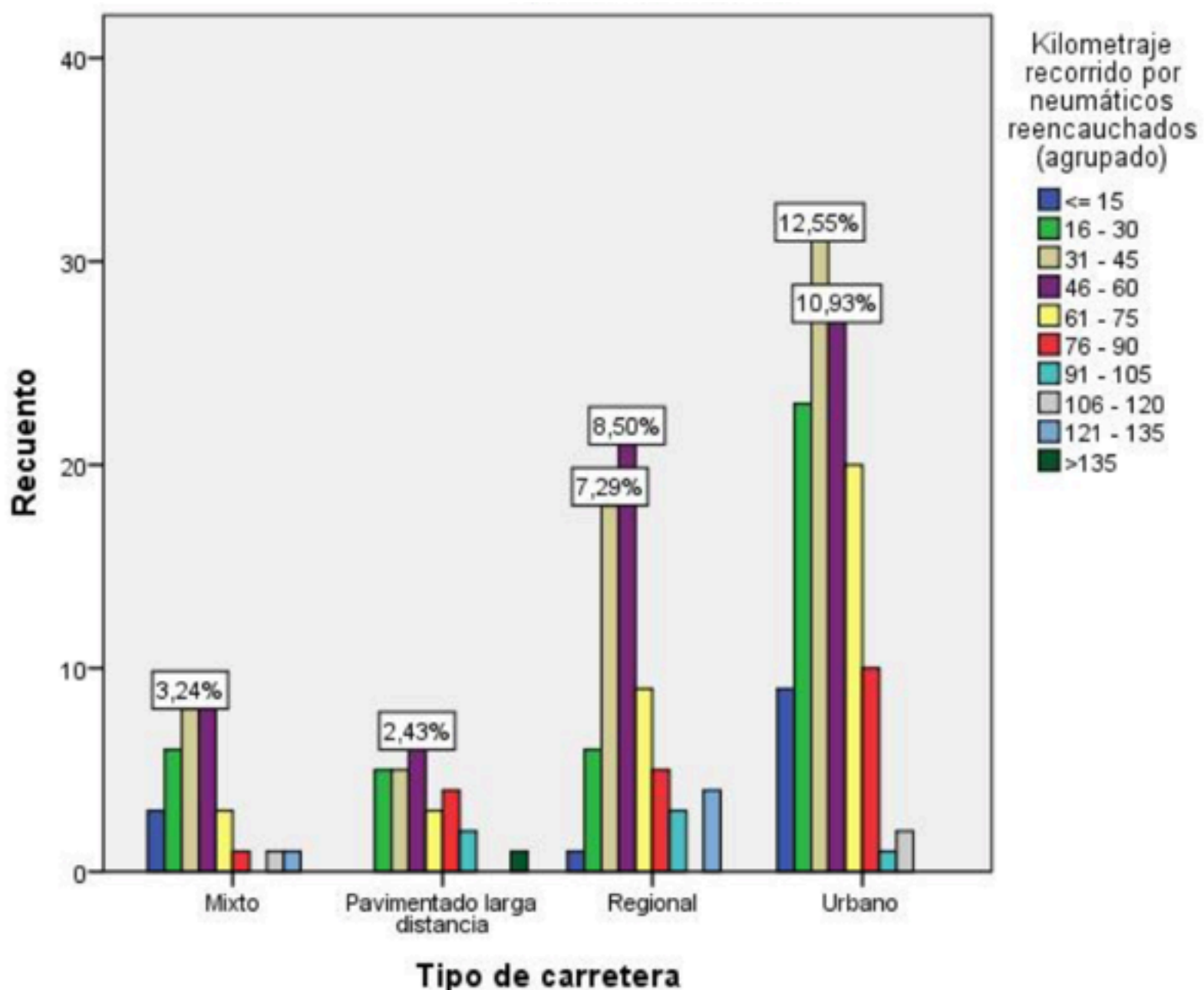


Por tanto, destacamos un valor por grupo. En los buses de transporte de recorrido larga distancia, las llantas nuevas duran una media de entre 61000 y 75000 Km (representando el 6.93% del total de neumáticos). En los de recorrido regional, sus neumáticos duran entre 46000 y 60000 Km (6.30%). Los neumáticos aplicados en carreteras mixtas duran de 31000 a 45000 Km (3.78%); y la misma duración media se evidencia en las llantas de recorrido urbano (13.24%). En general la vida útil efectiva va de 31000 a 60000 Km.

Los kilometrajes promedio recorridos por los neumáticos rencauchados según el tipo de carretera se representan en el Gráfico 4 con los porcentajes relativos al total de registros. Se aplica también una prueba de hipótesis de Kruskal-Wallis, según la cual:

Hipótesis: La distribución de *Kilometraje recorrido por neumáticos rencauchados* (agrupado) es la misma entre las categorías de *Tipo de carretera*. Nivel de significancia 0.05. Resultado 0.045. Se rechaza.

**Gráfico 4**  
Kilometraje recorrido por llantas rencauchadas según tipo de carretera en que circulan



Entonces, también deberíamos destacar únicamente el porcentaje mayor. En los buses de transporte de recorrido



pavimentado larga distancia los reencauches duran una media de entre 46000 y 60000 Km (representando el 2.43% del total de datos); en los de recorrido regional la duración es lo misma (8.50%). Los neumáticos aplicados en carreteras mixtas duran de 31000 a 45000 Km o entre 46000 y 60000 Km (3.24% cada intervalo). Por último, los neumáticos reencauchados de recorrido urbano duran una media entre 31000 y 45000 Km (12.55%). En general las duraciones van de 31000 a 60000 Km como vida útil efectiva, similar a lo registrado en llantas nuevas.

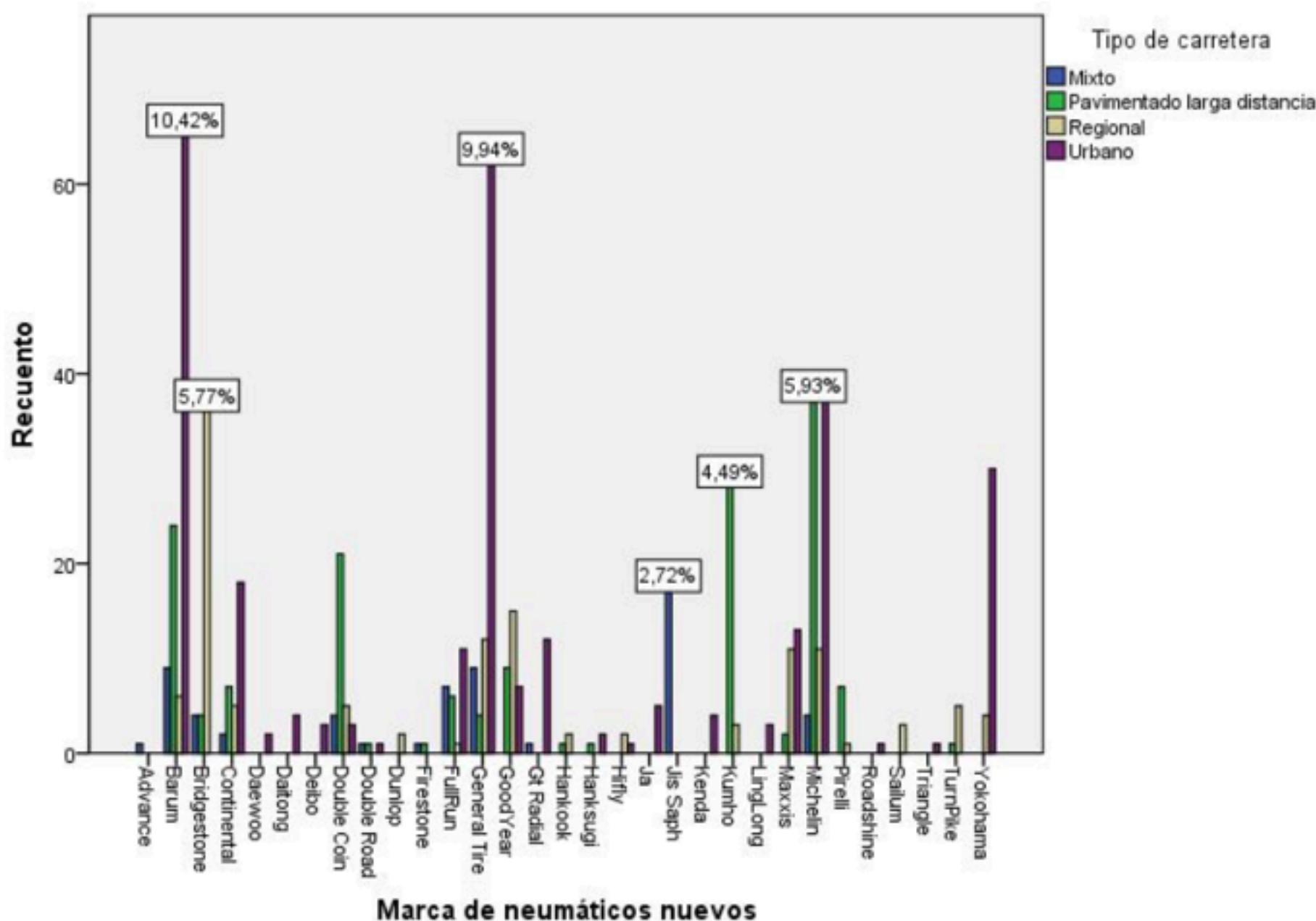
En las pruebas de hipótesis, respecto a las marcas de los neumáticos, los resultados fueron:

**Hipótesis:** La distribución de *Marca de neumáticos más utilizada* es la misma entre las categorías de *Tipo de carretera*. Nivel de significancia 0.05. Resultado 0.025. Se rechaza.

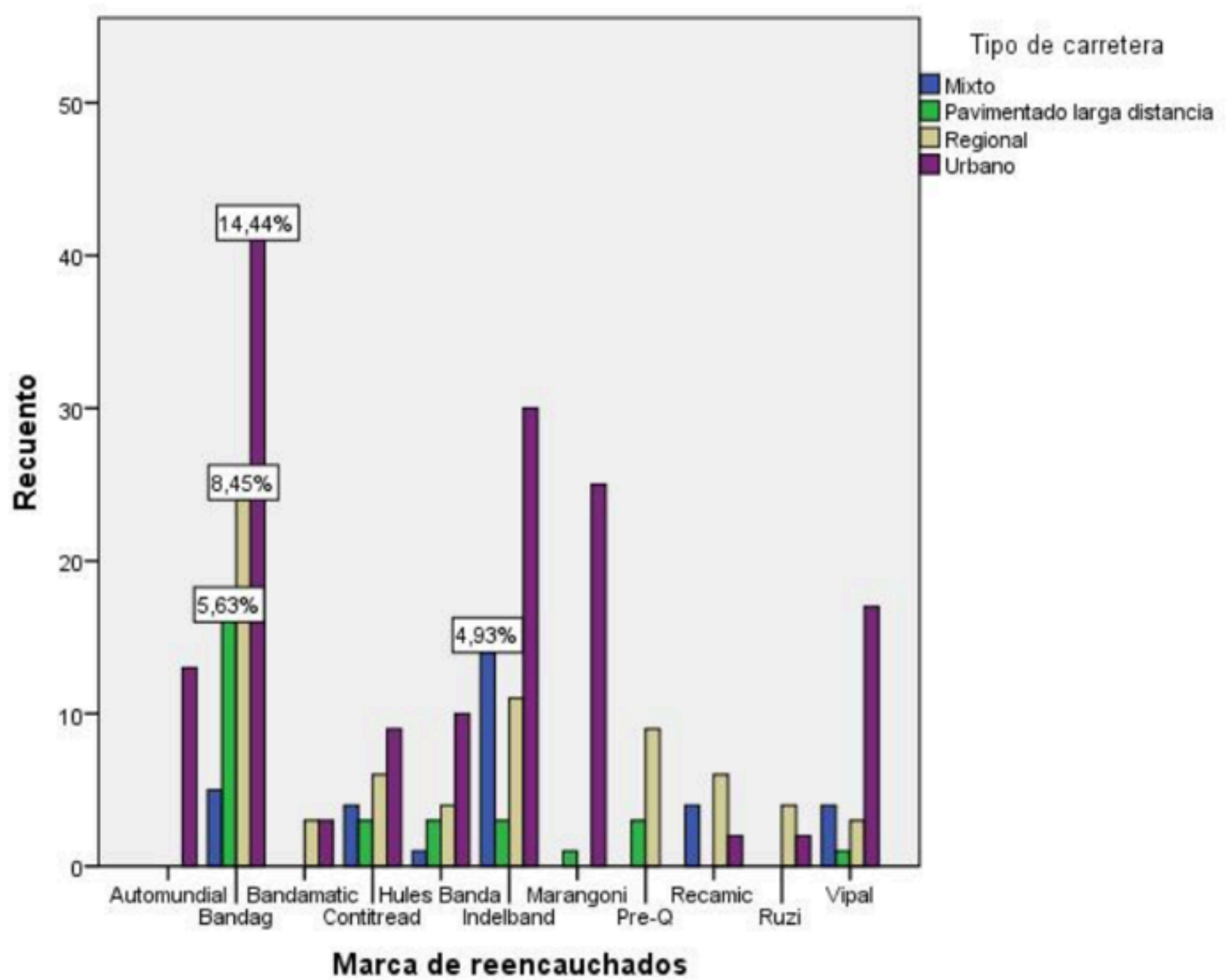
**Hipótesis:** La distribución de *Marca de reencauche más utilizada* es la misma entre las categorías de *Tipo de carretera*. Nivel de significancia 0.05. Resultado 0.008. Se rechaza.

Conviene entonces diferenciar las marcas más utilizadas según el tipo de carretera en el que circulan. Estos registros constan en los Gráficos del 5 y 6. Respecto a los neumáticos nuevos, en carreteras pavimentadas de larga distancia, la marca más utilizada es Michelin (5.93% del total consultado). Para el tipo de carretera regional la marca preferida es Bridgestone (5.77%). En carreteras mixtas la elección más común es Jis Saph (2.72%). En carreteras urbanas la elección más común es Yokohama (10.42%).

**Gráfico 5**  
Marcas de neumáticos nuevos más utilizados según el tipo de carretera en que circulan



**Gráfico 6**  
Marcas de llantas reencauchadas más utilizadas según tipo de carretera en que circulan

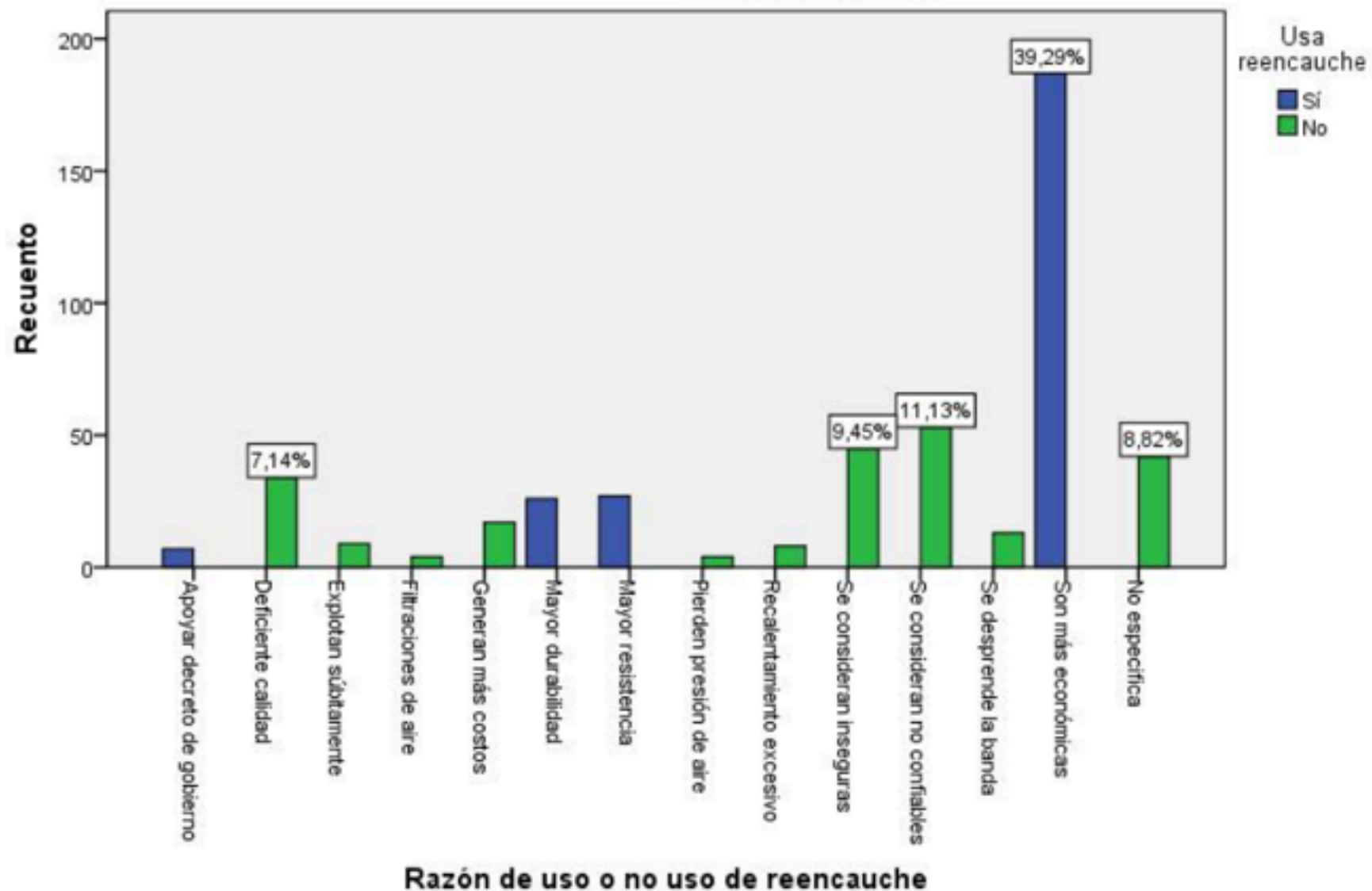


Y, con porcentajes relativamente cercanos, los buses de recorrido urbano suelen usar General Tire o Barum (9.94 y 10.42% respectivamente). En general la preferencia habitual en llantas nuevas depende de su aplicación y no hay un consenso específico. En el caso de los neumáticos reencauchados, para carreteras pavimentadas de larga distancia, la marca más utilizada es Bandag (5.63% del total registrado). La misma marca es la preferida para el tipo de carretera regional (con 8.45% del total). En carreteras mixtas la elección más común es Indelband (4.93%). Y, los buses de recorrido urbano suelen usar reencauche Bandag (14.44%). Así, la elección habitual en servicio de reencauche es Bandag.

### 3.1. Análisis y discusión

Diversas son las causas por las que los transportistas deciden hacer uso o no de los servicios de reencauche. Lo único que se refleja de manera considerable es que, los que usan reencauche lo hacen por razones de economía (Gráfico 7). Relativamente la duración de los neumáticos reencauchados en aplicación regional es mayor que en los nuevos; en contraposición estos tienen vida útil mayor en aplicaciones de larga distancia. Pero en específico, de acuerdo con los resultados obtenidos y analizando los kilometrajes promedio por marca de neumático según el tipo de carretera en que se utilizan, y las fallas más comunes en llantas según su marca y aplicación, se tendría que:

**Gráfico 7**  
Resultado de la razón de uso o no uso del servicio de reencauche (porcentajes totales)



Para las llantas nuevas, en carreteras pavimentadas de larga distancia las de mayor duración son las Michelin con una vida útil efectiva estimada de 70000 Km (siendo 68000 el promedio registrado), y cuando presentan fallas, el 51.2% de las veces son de fábrica, usualmente aplicable a reclamos por garantía de acuerdo con los registros obtenidos para este estudio. En vías regionales los neumáticos que más duran son los Bridgestone con una media de 83000 Km (siendo 53000 el promedio registrado), y en caso de fallas, el 15.8% de las veces es por baja resistencia a los impactos. En tramos mixtos las llantas más durables serían las Jis Saph con un promedio de 84000 Km esperado (siendo 38000 el promedio registrado), y la falla más común que presentan suele ser formaciones de ampollas por calor (35.3% de las veces). Para los recorridos urbanos, las mejores opciones serían Barum y General Tire, con un estimado de 59000 y 45000 Km respectivamente (siendo 38000 el promedio registrado), y la falla que podrían presentar ambas marcas es la baja resistencia a la penetración en la banda de rodamiento, el 27.6 y 18.7% de las veces en cada caso.

Para los neumáticos reencauchados, en vías pavimentadas de larga distancia y en las de tipo regional la mayor durabilidad la evidencia Bandag con 56000 y 55000 Km en promedio respectivamente (siendo 53000 el promedio registrado), en caso de fallas presenta desprendimiento de banda el 30.0 y 45.8% de las veces para cada caso. En tramos mixtos, los neumáticos reencauchados de los buses de transporte llegan a durar 40000 Km con la marca Indelband (en este caso el promedio registrado no es superado), pudiéndose presentar problemas de desprendimiento de banda el 31.3 % de las veces que se presenta un desperfecto. En trayectos urbanos los reencauches que tienen más duración son de la marca Bandag, con 55000 Km (siendo 38000 el promedio registrado), las ocasiones que evidencian fallas pueden ser de desgaste excesivo o por baja resistencia a la penetración el 27% de las ocasiones en ambos casos.

Considerando la proporcionalidad inversa de la duración en kilometraje de los neumáticos con los datos obtenidos en el estudio, los promedios y los recomendados, las emisiones de carbono se reducirían en un 25.8% la cantidad actual, es decir, de 87 a 64.6 Ton/año (Tablas 3 y 4). Esto se determina teniendo en cuenta que los neumáticos que transitan en carreteras pavimentadas de larga distancia son el 22.3% del total, las regionales 23.1%, los tramos mixtos 12.4% y, los urbanos 42.2%; además de que las carcasas de las llantas generan el 68.18% de la contaminación y las bandas de rodamiento el otro 31.82%; y, contrastando los promedios de duración o vida útil de las llantas con las estimadas al usar las marcas recomendadas.

**Tabla 3**  
Comparación de los rendimientos de los neumáticos, en kilometrajes

Tipo de neumático	Tipo de carretera	Porcentaje de población que representa	Kilometraje medio que recorren los neumáticos	Kilometraje esperado según datos del estudio
Llantas nuevas	Pavimentado Larga Distancia	22,30%	68000	70000
	Regional	23,10%	53000	83000
	Mixto	12,40%	38000	84000
	Urbano	42,20%	38000	59000
Reencauche	Pavimentado Larga Distancia	22,30%	53000	56000
	Regional	23,10%	53000	55000
	Mixto	12,40%	40000	40000
	Urbano	42,20%	38000	55000

Fuente: Resultados del estudio

-----

**Tabla 4**  
Cantidades porcentuales y relativas de

Tipo de neumático	Tipo de carretera	Porcentaje de contaminación por tipo de llanta	Toneladas de emisiones que representa	Toneladas de emisiones esperadas según estudio
Llantas nuevas	Pavimentado Larga Distancia	15,20%	13,23	12,85
	Regional	15,75%	13,70	8,75
	Mixto	8,45%	7,36	3,33
	Urbano	28,77%	25,03	16,12
Reencauche	Pavimentado Larga Distancia	7,10%	6,17	5,84
	Regional	7,35%	6,39	6,16
	Mixto	3,95%	3,43	3,43
	Urbano	13,43%	11,68	8,07

Fuente: Resultados del estudio

Lo anterior resulta en una reducción de 30.8% las emisiones contaminantes de las carcacas y 15.08% de las bandas de rodamiento (Tabla 5). También existe un beneficio económico que no es detallado en el presente artículo. En definitiva, dejarían de circular 22.44 Ton/año de emisiones de carbono, beneficiando muy considerablemente nuestro ecosistema.

**Tabla 5**  
Cantidades porcentuales y relativas de emisiones contaminantes contrarrestadas

Elemento	Toneladas de emisiones esperadas	Porcentaje de emisiones esperado	Reducción en Toneladas de emisiones	Reducción en porcentaje de emisiones
Llantas nuevas	41,05	69,20%	18,27	30,80%
Reencauchadas	23,51	84,92%	4,17	15,08%
<b>Toneladas emisiones CO2</b>	<b>64,56</b>	<b>74,20%</b>	<b>22,44</b>	<b>25,80%</b>

Fuente: Resultados del estudio

## 4. Conclusiones

Se lograron identificar las principales marcas de neumáticos utilizados por los buses de transporte y las fallas más comunes que se producen en estos, determinando las marcas de mayor duración, tanto de llantas nuevas como de reencauchadas. Además, se estimó la cantidad de emisiones contaminantes de carbono que se podrían evitar, tomando como referencia los neumáticos que circulan en provincia de El Oro con tipos de carretera pavimentada de larga distancia, regional, mixta o tramos de asfalto-tierra y, urbano. Al lograr mantener una carga promedio constante, con las condiciones de manejo y en las mismas rutas de transporte, los resultados presentados son generalizables a nivel nacional.

Usando los indicadores de tipo de carretera, fallas más comunes y kilometraje recorrido por los neumáticos, se pudo establecer el beneficio medioambiental en caso de usar las marcas de mayor duración determinadas, siendo estas las Michelin, Bridgestone, Jis Saph y Barum, según su aplicación como neumáticos por tipo de carretera. En el caso de los servicios de reencauche se recomendaron Bandag para todas las aplicaciones excepto en tramos mixtos donde la mejor sería Indelband.

También se llegó a verificar el mayor kilometraje registrado de acuerdo con la marca y tipo de carretera y, complementar esta información analizando las fallas más comunes por marca de neumático, logrando así determinar la cantidad de emisiones contaminantes que se pueden evitar con sólo usar las marcas con mayor vida útil efectiva. Los desperfectos que podrían presentar de forma típica serían los de baja resistencia a los impactos o a la penetración, ampollas producidas por el recalentamiento y, las fallas de fábrica en neumáticos nuevos; en reencauches podrían presentarse problemas de desgaste excesivo o de desprendimiento de banda. Sin embargo, la mayoría de estos problemas se pueden evitar con un adecuado control de los factores que afectan el desgaste de la llanta, como la presión de inflado recomendado por el fabricante, y mejorando las condiciones de manejo.

## Referencias bibliográficas

Aatmeeyata, & Sharma, M. (2010). Polycyclic aromatic hydrocarbons, elemental and organic carbon emissions from tire-wear. *Science of the Total Environment*, 408(20), 4563–4568. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.06.011>

Bridgestone. (2015). Catálogo Bandag - Bandas de Reconstrucción. Bandag. Retrieved from [https://www.testaneumaticos.com/wp-content/uploads/2016/10/CATALOGO\\_BANDAG.pdf](https://www.testaneumaticos.com/wp-content/uploads/2016/10/CATALOGO_BANDAG.pdf)

El Universo. (2018, June 3). 2,4 millones de neumáticos se desechan cada año en Ecuador. *Ecología*, p. Vida. Retrieved from <https://www.eluniverso.com/vida/2018/06/03/nota/6790121/24-millones-neumaticos-se-desechan-cada-ano-pais>

Gavilanes Triviño, J. (2013). *Proyecto de Implementación de una Planta Reencauchadora de Neumáticos para Transporte Pesado*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Retrieved from <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/32447>

Generalitat De Catalunya, & Comisión Interdepartamental del Cambio Climático. (2011). *Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)*. Oficina Catalana del Canvi Climàtic (Vol. 1). Catalunya. Retrieved from <http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531>

H.B. Plus Bandamatic. (2018). Tread designs. Mexico D.F.: HB Plus Bandamatic. Retrieved from [www.hbplusbandamatic.com](http://www.hbplusbandamatic.com)

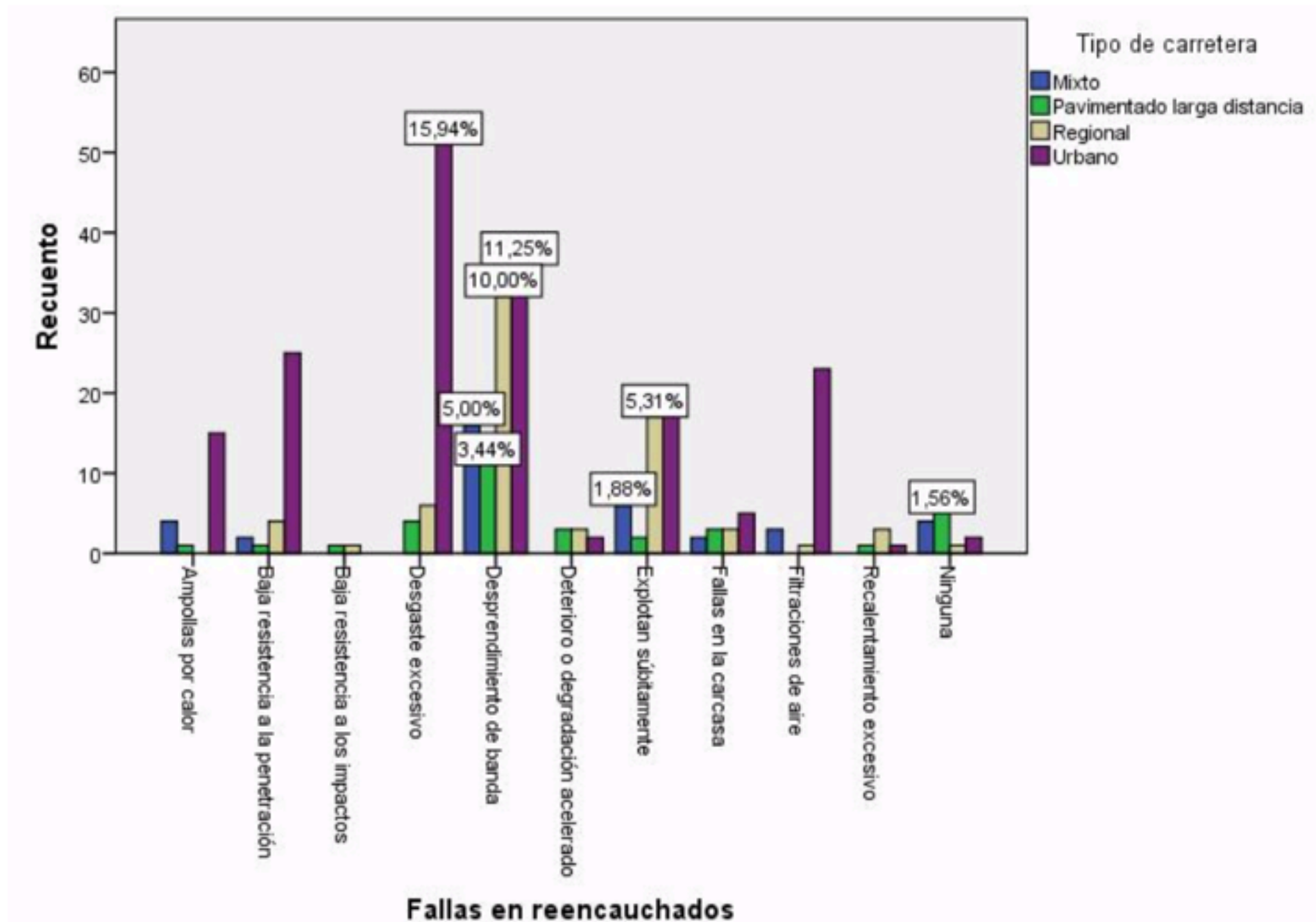
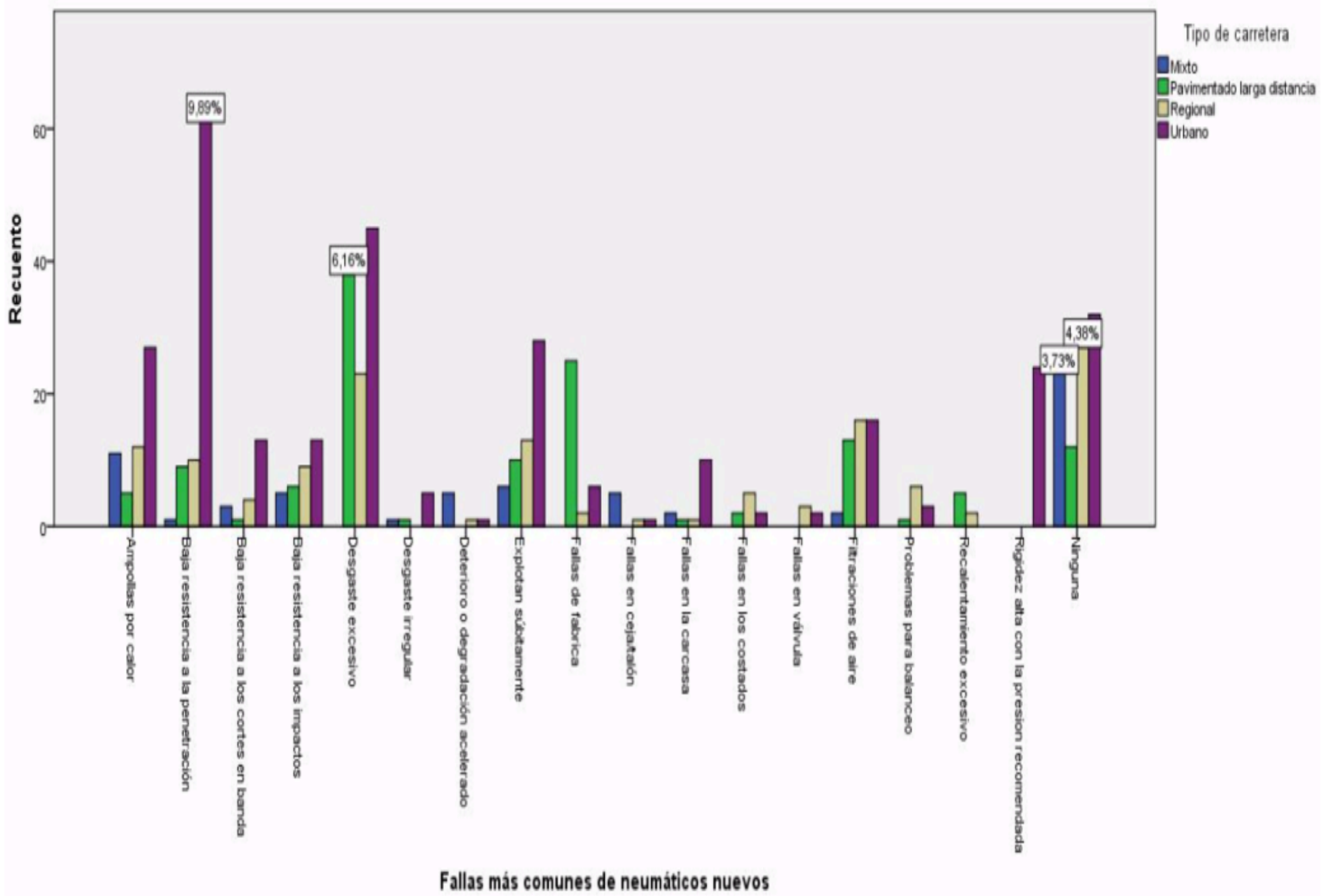
International Trade Centre. (2018). List of supplying markets for a product imported by Ecuador. <https://doi.org/www.trademap.org>

- Isan, A. (2017). Los neumáticos, grandes contaminantes. <https://doi.org/www.ecologiaverde.com>
- Kunnappillil Madhusudhanan, A., Corno, M., Arat, M. A., & Holweg, E. (2016). Load sensing bearing based road-tyre friction estimation considering combined tyre slip. *Mechatronics*, *39*, 136–146. <https://doi.org/10.1016/J.MECHATRONICS.2016.03.011>
- Liu, Y. H., Li, T., Yang, Y. Y., Ji, X. W., & Wu, J. (2017). Estimation of tire-road friction coefficient based on combined APF-IEKF and iteration algorithm. *Mechanical Systems and Signal Processing*, *88*, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2016.07.024>
- Medina Moral, E. (2002). Modelos econométricos e información estadística. *Introducción a La Econometría e Informática*. España: DocPlayer. Retrieved from <https://docplayer.es/9062986-Introduccion-a-la-econometria-e-informatica-modelos-econometricos-e-informacion-estadistica.html>
- Ministerio de Industrias y Productividad. (2018). Registro de Empresas Reencauchadoras. Retrieved September 9, 2018, from <https://www.industrias.gob.ec/reusa-llanta/>
- Ministerio del Ambiente. (2017). Controlar la contaminación ambiental contribuye a mejorar la calidad de vida de la población | Ministerio del Ambiente. Retrieved August 30, 2018, from <http://www.ambiente.gob.ec/controlar-la-contaminacion-ambiental-contribuye-a-mejorar-la-calidad-de-vida-de-la-poblacion/>
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments*. (D. Montgomery, Ed.), Wiley (Ninth). United States: Wiley. Retrieved from <http://www.iccm-central.org/Proceedings/ICCM17proceedings/Themes/Behaviour/AGING, MOIST & VISCOE PROP/INT - AGING, MOIST & VISCOE PROP/IF1.1 Fukushima.pdf%5Cnhttp://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215019487%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1016/j>
- Montgomery, D., Peck, E., & Vining, G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis*. (D. Montgomery, Ed.), Wiley (Fifth). Wiley. Retrieved from <https://www.wiley.com/en-us/Introduction+to+Linear+Regression+Analysis%2C+5th+Edition-p-9780470542811>
- Mott, R. L. (2015). *Mecánica de Fluidos*. (Pearson, Ed.) (Séptima). México: Prentice Hall.
- Noblecilla G., M., Ortíz B., L., Ruiz C., J., Encalada L., I., & Ordoñez C., O. (2016). Análisis del potencial turístico de las comunidades rurales. Caso de estudio: Comunidad Muyuyacu, El Oro-Ecuador. *RIAT*, *12*(1), 48–59. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/322>
- Ortiz Berrezueta, L. A., Noblecilla Grunauer, M. S., Ruiz Carrillo, J. A., Ordoñez Contreras, O. S., & Crespo Garcia, M. K. (2017). Perception of local communities on the sociocultural impacts of rural tourism. Case of Bellavista, El Oro, Ecuador. *RIAT*, *13*(1), 15–27. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/riat.v13i1.369>
- Ramos, G., Alguacil, F. J., & López, F. a. (2011). The recycling of end-of-life tyres. Technological review. *Revista de Metalurgia*, *47*(3), 273–284. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.1052>
- Renovallanta. (2017a). Catalogo Contitread 2017. Cuenca: Renovallanta. Retrieved from [www.renovallanta.com](http://www.renovallanta.com)
- Renovallanta. (2017b). Catalogo Indelband 2017. Cuenca: Renovallanta. Retrieved from [www.renovallanta.com](http://www.renovallanta.com)
- Rodvalho, E. da C., & de Tomi, G. (2017). Reducing environmental impacts via improved tyre wear management. *Journal of Cleaner Production*, *141*, 1419–1427. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.202>
- Roveri, N., Pepe, G., & Carcaterra, A. (2016). OPTYRE - A new technology for tire monitoring: Evidence of contact patch phenomena. *Mechanical Systems and Signal Processing*, *66–67*, 793–810. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2015.06.019>
- Ruzi. (2012). Catálogo de productos. Mexico D.F.: Vipal. Retrieved from [vipal@vipal.com.br](mailto:vipal@vipal.com.br)
- Serway, R. A., & Vuille, C. (2012). *Fundamentos de Física. Volumen 1* (Novena). Mexico D.F.: Cengage Learning. Retrieved from <http://latinoamerica.cengage.com>
- Taghavifar, H., & Mardani, A. (2013). Investigating the effect of velocity, inflation pressure, and vertical load on rolling resistance of a radial ply tire. *Journal of Terramechanics*, *50*(2), 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2013.01.005>

## Anexos

### Anexo 1

Porcentajes relativos de las fallas más comunes que se presentan en los neumáticos



La presente investigación forma parte de su tesis doctoral, a ser titulada: "Reducción de emisiones contaminantes mediante una gestión de control de neumáticos en buses de transporte".

1. Docente Titular. Universidad Metropolitana del Ecuador. Doctorando en Ingeniería Industrial en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. ID: [orcid.org/0000-0002-9183-0004](https://orcid.org/0000-0002-9183-0004). Correo: [jruizc@umet.edu.ec](mailto:jruizc@umet.edu.ec)