

NIVELES DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO GENERADOS POR EL FLUJO VEHICULAR EN LA ZONA URBANA DE TINGO MARÍA¹

Kelly D. Ayala Aguirre², Víctor Beteta Alvarado³

Recepción: 13 de febrero de 2017

Aceptado: 20 de diciembre de 2017

Resumen

A nivel mundial los automóviles y otras fuentes contribuyen alrededor de la mitad de los NO_x que son emitidos. A nivel local, se ha registrado un incremento del flujo vehicular, la Municipalidad de Leoncio Prado registró en el año 2012 un total de 2,337 trimóviles, para el año 2016 hubo un incremento a 4,125 trimóviles de servicio público, sin embargo no se evidencia estudios sobre la cuantificación de los niveles de dióxido de nitrógeno (NO₂). Por ello se relacionó los niveles de NO₂ generados por el flujo vehicular en la zona urbana de Tingo María. Para ello se establecieron 9 puntos de muestreo, 3 puntos de muestreo con un flujo vehicular bajo, 3 de flujo vehicular intermedio y 3 de un flujo vehicular alto. Los niveles de NO₂ fueron determinados por el método activo con un tren de muestreo, las muestras fueron recolectadas en turnos de la mañana, tarde y noche, paralelo se realizó el aforo vehicular. Los resultados indican que las dos variables son dependientes, presentando un coeficiente de correlación de Pearson positiva considerable ($r = 0.836$), el flujo vehicular influye en un 69.81% sobre el aumento de las concentraciones de NO₂. En la Av. Raimondi se registró el mayor promedio de flujo vehicular con 2,838 vehículos/hora y 32.55 ug/m³ de NO₂, el menor promedio fue registrado en la Av. Alameda Cd. 3 con 814 vehículos/hora y 9.65 ug/m³ de NO₂.

Palabras Clave: flujo vehicular, niveles de NO₂, contaminación atmosférica.

Abstract

Worldwide cars and other sources contribute about half of the NO_x that are emitted. At the local level, there has been an increase in traffic flow, the Municipality of Leoncio Prado registered in 2012 a total of 2,337 trolleys, for the year 2016 there was an increase to 4,125 trolleys of public service, however there is evidence of studies on the quantification of the levels of nitrogen dioxide (NO₂). Therefore, the NO₂ levels generated by the vehicular flow in the urban area of Tingo María were related. For this purpose, 9 sampling points were established, 3 sampling points with low vehicular flow, 3 intermediate vehicle flow and 3 high vehicular flow. The NO₂ levels were determined by the active method with a sampling train, the samples were collected in shifts in the morning, afternoon and evening, parallel vehicle capacity was realized. The results indicate that the two variables are dependent, presenting a significant positive Pearson correlation coefficient ($r = 0.836$), vehicle flow influences 69.81% on the increase of NO₂ concentrations. At Raimondi Av., The highest average vehicle flow was recorded at 2,838 vehicles / hour and 32.55 ug / m³ NO₂, the lowest average was registered at Av. Alameda Cd. 3 with 814 vehicles / hour and 9.65 ug / m³ of NO₂.

Keywords: vehicle flow, NO₂ levels, air pollution.

¹ Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

² Tesista de la especialidad de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

³ Docente de la especialidad de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Introducción

Los vehículos propulsados por motores de combustión interna producen, en general, dos tipos de emisiones de gases contaminantes: causados por la evaporación de los combustibles, y las emisiones por el tubo de escape (1). Los aportes en las emisiones de los contaminantes de las fuentes móviles varían, siendo el más importante para todas las ciudades el monóxido de carbono (CO), seguidos por los COV y los óxidos de nitrógeno (NO_x) (2). A nivel mundial los automóviles y otras fuentes contribuyen alrededor de la mitad de los NO_x que son emitidos, los NO_x representan a una familia de siete compuestos, la EPA regula sólo el dióxido de nitrógeno (NO₂) como un suplente para esta familia de compuestos porque es la forma más predominante de NO_x en la atmósfera que es generada por la actividad antropogénica, además que reacciona en la atmósfera para formar ozono troposférico (O₃) y lluvia ácida (3).

A nivel local, se ha registrado un incremento del flujo vehicular, la cantidad de vehículos registrados por la Municipalidad de Leoncio Prado en el año 2012 fue de 2,337 trimóviles, para el año 2016 hubo un incremento a 4,125 trimóviles de servicio público.

Sin embargo no se evidencia cuantitativamente trabajos orientados a determinar las concentraciones de NO₂. Por lo tanto la necesidad de iniciar monitoreos de calidad de aire en la ciudad de Tingo María es una oportunidad para establecer antecedentes que generen la información representativa sobre el grado de contaminación por NO₂ generados por el flujo vehicular.

Materiales y métodos

Lugar de ejecución

La investigación se desarrolló en la zona urbana de Tingo María, ubicado en el distrito Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado, región Huánuco.

Metodología

Ubicación de los puntos de muestreo.

El muestreo se realizó en 9 sitios ubicados en la zona urbana de Tingo María, en función a la intensidad del flujo vehicular: 3 puntos de muestreo en flujo vehicular bajo, 3 puntos de muestreo en un flujo intermedio y 3 puntos de muestreo en un flujo vehicular alto. Para ello, se consideró como antecedente los resultados obtenidos del aforo vehicular realizado por un trabajo anterior en la zona urbana de Tingo María (4).

Cuadro 1. Ubicación de los puntos de muestreo.

Punto de monitoreo	Longitud	Latitud	Altitud
	Oeste	Sur	(msnm)
P-1	390047	8971829	671
P-2	390191	8971843	659
P-3	390275	8972652	655
P-4	390232	8971724	664
P-5	389751	8971799	665
P-6	390099	8972132	666
P-7	390345	8972767	652
P-8	389788	8971669	666
P-9	389711	8971739	666

Fuente: ZAVALA (2014).

Estimación de la tasa del flujo vehicular

Para estimar la tasa del flujo vehicular, se realizó en campo el aforo de las fuentes móviles. El aforo vehicular consistió en el conteo visual del total de vehículos que transitaban con un intervalo de 20 minutos durante 1 hora en cada punto de muestreo establecido. Para registrar los valores máximos se realizó el aforo vehicular en las horas "punta" en los tres turnos del día, el turno de la mañana en el horario de 7:00 a 9:00 horas, turno tarde en el horario de 11:00 a 14:00 horas y en el turno de la noche en el horario de 18:00 a 20:00 horas.

La tasa del flujo vehicular se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{N}{T}$$

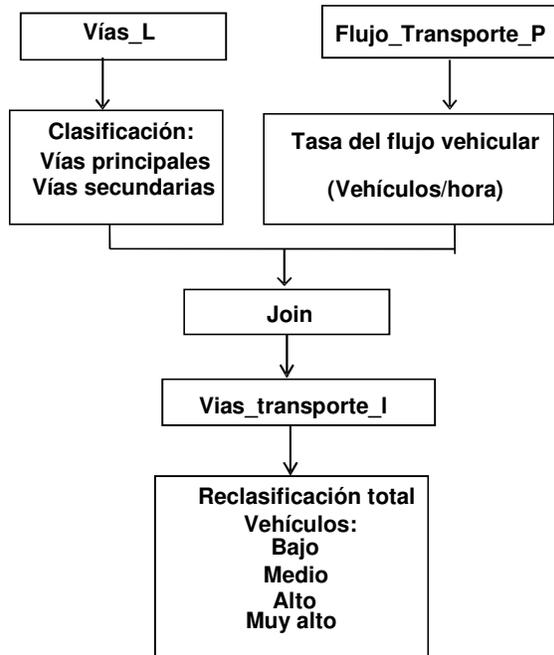
Donde:

q : Tasa de flujo o volumen horario (vehículos/hora)

N : Número total de vehículos

T : Intervalo de tiempo (por hora)

Para la clasificación cartográfica del flujo vehicular se consideró los resultados obtenidos de un estudio anterior cuya metodología se basó en realización de aforos vehiculares en intervalos de 10 minutos en turnos de la mañana, en el horario de 7:00 a 9:00 horas en el turno de la tarde en el horario de 12:30 a 14:00 horas y en el turno de la noche en el horario de 19:00 a 21:00 horas en 30 puntos de muestreo dentro de la zona urbana de Tingo María (4). La clasificación cartográfica se realizó en el programa ArGis 10.1, mediante la intersección del shapefile de vías y la tasa del flujo vehicular.



Fuente: BERMEDES Y PAREDES (2012).

Figura 1.
Flujograma del flujo vehicular para la ciudad Tingo María.

Caracterización del flujo vehicular según el tipo de categoría vehicular

Se realizó la clasificación vehicular en 4 categorías.

Muestreo de los niveles de dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Se utilizó el método activo aprobado por DIGESA (5). El principio del método consistió en recolectar la muestra con un tren de muestreo, mediante la succión del aire por un filtro de captación a un caudal regulado, el aire fue burbujeadado en tubos impinger de 100mL de volumen, en la cual contenía 10mL de solución captadora.

Se instaló el tren de muestreo en los puntos establecidos (Cuadro 1) en los tres turnos del día, el turno de la mañana, tarde y noche.

Paralelamente se registraron los datos de temperatura (°C) y humedad relativa (%) del termo higrómetro por cada hora.

Las muestras fueron guardadas con gel refrigerante en una caja de tecnopor, para mantener fría la muestra hasta la llegada al laboratorio.

Cuadro 2. Clasificación vehicular.

Categoría	Descripción	Clase
Categoría "L"	Vehículos automotores con menos de 4 ruedas	Motocicleta
		Trimoto pasajeros
		Trimoto carga
Categoría "M"	Vehículos automotores de 4 ruedas o más diseñados para el transporte de pasajeros	Auto*
		Ómnibus (urbano e interurbano)
Categoría "N"	Vehículos automotores de 4 ruedas o más diseñados y construidos para el transporte de mercancías	Camioneta o Pick up
		Furgon o Camión
		Volquete
Categoría "O"	Remolques (incluido semirremolques)	Remolques cisterna o tráiler

* Comprende la carrocería de Sedan, Station Wagon y multipropósito.

Fuente: Reglamento Nacional de vehículos (D.S. N° 058-2003-MTC).

El cálculo se realizó mediante la siguiente ecuación de la recta obtenida de la curva de calibración.

$$Y = \text{Absorbancia}_{\text{muestra}} - \text{Absorbancia}_{\text{blanco de método}}$$

$$Y = mx + b$$

Donde:

M = pendiente

B = intercepto

Y = absorbancia corregida

X = ug NO₂/mL obtenidos de la curva

Dispersión de los niveles de NO₂ en la zona urbana de Tingo María

Se utilizó el software ArGis 10., para la interpolación de los 9 puntos de muestreo, mediante la caja de herramientas ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Interpolation > Kriging

Diseño de la investigación

La investigación es de tipo no experimental tipo transeccional - correlacional (7).

Variables en estudio.

Variable independiente.

La variable independiente es el flujo vehicular, número de vehículos que transitan en el punto de muestreo por hora.

Variable dependiente.

La variable dependiente es la concentración del dióxido de nitrógeno (ug/m³).

Análisis estadístico

Análisis descriptivo de las variables

Para el análisis de los resultados, se utilizó la estadística descriptiva, dentro de los cuales se consideró al estadístico promedio media, la cual se expresa mediante la fórmula:

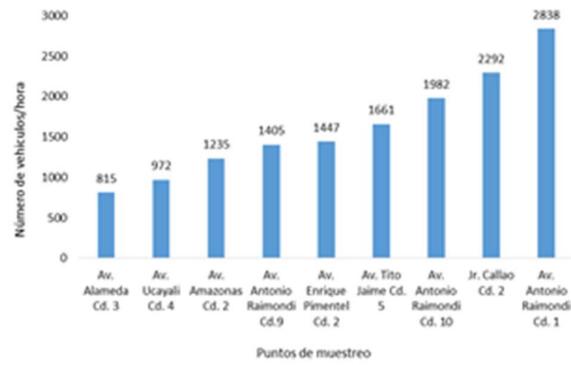


Figura 2. Flujo vehicular en diferentes puntos de la zona urbana de Tingo María.

$$Media = \frac{Suma\ de\ los\ datos}{Cantidad\ de\ datos}$$

Para determinar el grado de variabilidad de los datos, se utilizó la siguiente fórmula:

$$CV\% = \frac{\sqrt{CM_E}}{\bar{X}} \times 100$$

Donde:

- CV : Coeficiente de variación
- CM : Cuadrado medio del error
- X : Media muestral

Inferencia sobre la relación de las variables

Para determinar la relación de las 2 variables en estudio se utilizó la prueba estadística paramétrica, específicamente el coeficiente de correlación de Pearson. Se estableció la siguiente prueba de hipótesis a un nivel de confianza de 95%.

- H₀ = Las variables son independientes
- H₁ = Las variables tienen relación entre ambas



Figura 3. Instalación del tren de muestreo de calidad de aire.

Discusión

Tasa de flujo vehicular en la zona urbana de Tingo María.

En la Av. Raimondi se registró un mayor flujo vehicular en comparación con los demás puntos de muestreo con un promedio de 2,838 vehículos por hora, debido que cerca a este punto de muestreo se encuentra ubicada diversas instituciones muy concurridas como el Banco de la Nación, Banco de Crédito, empresas de transporte de pasajeros, zonas comerciales, y grifos; es una avenida por la cual corresponde una conexión a diversas vías, por ser una vía principal, la variabilidad de los datos fue muy uniforme por presentar 15.58% del coeficiente de variación, además que hay un mayor tráfico en la zona.

Además se registró en promedio para el turno mañana 1,409 vehículos por hora, incrementándose el valor en el turno de la tarde a un promedio de 1,663 vehículos por hora, disminuyendo en el turno de la noche hasta 1,613 vehículos por hora. Sin embargo, en los resultados del aforo vehicular de un estudio anterior comprendido en turnos de la mañana (7:30-9:00), tarde (12:30-2:00) y noche (22:00-23:30) realizado en 30 puntos de muestreo en la zona urbana de Tingo María, registraron un mayor promedio en el turno de la tarde con 1,442 vehículos/hora, seguido el turno mañana con 1,279 vehículos/hora disminuyendo considerablemente en el turno noche con 896 vehículos por hora (4), esta diferencia se debe a que se realizó el aforo en diferente horario en el turno de la noche, en el horario comprendido entre las 18:00 a 20:00 horas se da una mayor concurrencia a diferencia del horario comprendido entre las 22:00 -23:20 horas, debido a que tanto los institutos de turno noche, así como la masa laboral que se retira de sus puestos de trabajo, se dan en ese horario. Además se corrobora el incremento del flujo vehicular en la ciudad de Tingo María.

Caracterización del flujo vehicular según el tipo de categoría vehicular en la zona urbana de Tingo María.

La categoría "L" comprende el 92% del total de vehículos que transcurren en la zona urbana de Tingo María. Dentro de las clases vehiculares de la categoría "L", se registró que la clase Trimoto pasajeros tuvo el mayor promedio de tasa de flujo vehicular, que comprende el 63% del total de vehículos que transitan, mientras que trimoto carga solo representa el 1% de los vehículos, los resultados son corroborados con un estudio anterior en donde se registró que la mayor parte de los vehículos en tránsito corresponden a las motocicletas y vehículos livianos (4).

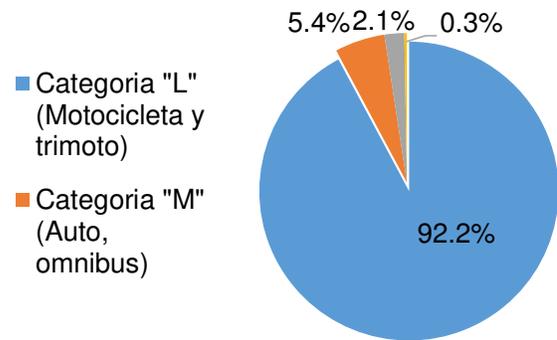


Figura 4. Composición del flujo vehicular por los turnos del día en la zona urbana de Tingo María.

Niveles de NO₂ en la zona urbana de la ciudad de Tingo María.

Las emisiones por el tubo de escape dependen de las características del vehículo (los vehículos más pesados o más potentes tienden a generar mayores emisiones por kilómetro recorrido), tipo de motor, antigüedad, su sistema de control de emisiones, mantenimiento y tipo de combustible además (1). Los vehículos a gasolina emiten un promedio de 0.496 gr de NO₂ por kilómetro recorrido, mientras que los autos a diesel emiten 1.269 gr de NO₂ por kilómetro recorrido (7).

Las tasas de generación de NO₂ estimadas, en otros estudios presentaron variaciones dependiendo de la densidad de tráfico vehicular, encontrando mayores niveles de dióxido de nitrógeno en una zona de alta densidad vehicular con un promedio de 6,000 vehículos/día, presentando del periodo total de muestreo un promedio de 42.03 ug/m³, mientras que en la zona de dispersión donde el flujo vehicular es menor un promedio de 13.38 ug/m³ (8).

En la ciudad de Tingo María en la cuadra 1 de la Av. Raimondi, se registró un mayor flujo vehicular

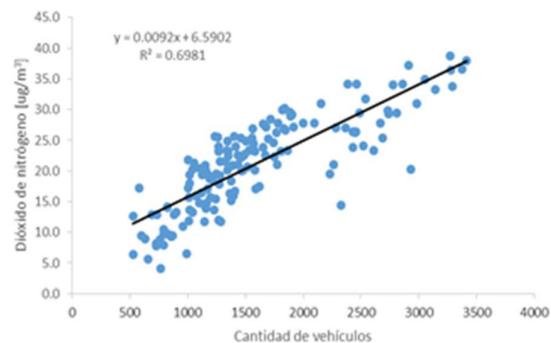


Figura 5. Regresión lineal entre la cantidad de vehículos con la concentración de NO₂.

con 2838 vehículos/hora asimismo un mayor promedio de concentración de NO₂ con 32.55 ug/m³.

La concentración mínima de NO₂ se registró en la Av. Alameda Cd. 3 con un promedio de 9.65 ug/m³, zona donde se registró que el flujo vehicular es menor en comparación con los demás puntos de muestreo, lo que explica esta baja concentración.

Relación entre el incremento del parque automotor con la concentración de NO₂ en la zona urbana de Tingo María

El dióxido de nitrógeno puede considerarse un indicador de emisiones de los vehículos (9), lo mencionado se corrobora con los resultados ya que la relación del flujo vehicular con la concentración del NO₂ en la zona urbana de Tingo María, presentó un coeficiente de correlación de Pearson de $r = 0.836$, se encuentra en el rango de un grado de correlación positiva considerable. Mientras que el coeficiente de determinación resulta que el flujo vehicular influye en un 69.81% sobre el aumento de las concentraciones de NO₂.

En un estudio realizado en la ciudad de Tingo María se determinó la correlación entre el IPA y el flujo vehicular, obteniendo un valor "r" de Pearson de 0.812 y un coeficiente de determinación de 65.9% con una pendiente negativa (10).

Conclusiones

1. La relación del flujo vehicular con las concentraciones del NO₂ presentó un coeficiente de correlación de Pearson positiva considerable ($r = 0.836$), el flujo vehicular influye en un 69.81% sobre el aumento de las concentraciones de NO₂.
2. Se registró un mayor flujo vehicular en la cuadra 1. de la Av. Raimondi y el Jr. Callao con 2,838 y 2,838 vehículos por hora, respectivamente. El menor flujo vehicular se registró en la Av. Alameda Cd. 3, con un promedio de 814 vehículos/ hora.
3. Se caracterizó las clases vehiculares por categorías, la categoría "L" presento una mayor tasa de flujo vehicular de 1,463 vehículos/hora, seguido de la categoría "M" con un promedio de 86 vehículos por hora, dentro de la categoría "L" se registró que la clase trimoto pasajeros tuvo el mayor promedio comprendido por un 63% de total de vehículos que transitan, mientras que trimoto carga solo representa el 1% de los vehículos.
4. La concentración de NO₂ en el turno de la mañana en el horario de 7:00 – 9:00 horas fue

20.24 ug/m³, en el turno del medio día en el horario de 11:00 a 14:00 horas fue de 22.16 ug/m³ en el turno de la noche el valor disminuyó, obteniendo un promedio de 21.47 ug/m³.

5. La mayor concentración de NO₂ se registró en la cuadra 1 de la Av. Raimondi con un promedio de 32.55 ug/m³ y la concentración mínima se determinó en la Av. Alameda Cd 3. con un

Cuadro 3. Estadísticos descriptivos del NO₂ (ug/m³) en los puntos de muestreo de la ciudad de Tingo María.

Puntos de muestreo	Media ± EE	Desv. Estándar	CV (%)
	9.67 ± 0.78	3.39	35.03
Av. Alameda Cd. 3			
Av. Ucayali Cd 4.	14.00 ± 0.57	2.34	16.72
Av. Raimondi Cd. 9	17.49 ± 0.82	3.76	21.48
Av. Amazonas Cd. 2	20.00 ± 0.81	3.54	17.70
Av. E. Pimentel Cd. 2	24.66 ± 0.93	3.74	15.17
Av. Tito J. Cd. 5	24.83 ± 0.66	2.66	10.70
Av. A. R. Cd. 10	24.91 ± 0.80	3.68	14.79
Jr. Callao Cd. 2	26.52 ± 1.01	4.50	16.96
Av. Raimondi Cd. 1	32.55 ± 0.98	4.06	12.46

EE: error estándar de la media.

promedio de 9.65 ug/m³, zona donde se registró que el flujo vehicular es menor en comparación con los demás puntos de muestreo.

Referencias bibliográficas

1. Secretaria de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT). 2007. Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas. México, d.f. 100p.
2. Ministerio del ambiente (MINAM). 2010. El Perú y el cambio climático. Lima. 204 p.
3. United States Environmental Protection agency air (EPA), 1999, Óxidos de nitrógeno (NOX), ¿por qué y cómo se controlan?. Centro de información sobre contaminación de aire. North C
4. Zavala. G., 2014. Niveles de contaminación acústica por tráfico automotor de marzo – julio en la zona urbana de la ciudad de Tingo María. Tesis Ing. Ambiental. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 119p.
5. Dirección General De Salud Ambiental (DIGESA). 2005. Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos. [En línea]: Digesa, (http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/pr_otocolo_calidad_de_aire.pdf, documentos, 25 jun. 2016).

6. Hernandez, s., Fernandez, C., Babtista, L., 2006. Metodología de la investigación científica. 4 ed. México, Mc Graw-Hill. 882 p.
7. Valdeiglesias, L., 2007. Estudio de Factibilidad Económica para la Conversion de Vehículos Gasolineros a Gas Licuado de Petróleo. Tesis de especializacion. Lima – Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de petróleo .106p.
8. Cordova. F. 2011. Analisis de la emision y dispersion del dióxido de nitrógeno en un sector de alto flujo vehicular. Tesis Msc. en Ingeniería Ambiental. Maracaibo. Venezuela. 92p.Universidad de Zulia. Facultad de Ingeniería.
9. Aragon, P. Gomez, C. Torres, S. 2005. Contaminación atmosférica; Manual de laboratorio. Universidad Politécnica de Valencia. 123p.
10. Quispe. K. 2014. Liqueenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo María, Peru. Tesis Ing. Ambiental. Tingo Maria. Universidad Nacional Agraria de la Selva.