

Metodología para la gestión de pavimentos para una zona puntual de la ciudad de Bogotá

Methodology for pavement management in a single area of Bogota

Mauricio Rodríguez Sabogal¹

Para citar este artículo: Rodríguez, M. (2015). Metodología para la gestión de pavimentos para una zona puntual de la ciudad de Bogotá. Colombia, Revista de Topografía, PP 15-22

Fecha de Recepción: 20 de febrero de 2015

Fecha de Aceptación: 30 de octubre de 2015

Resumen

La administración y gestión para controlar el mantenimiento y estado los pavimentos de una red vial, urbana o nacional, es una tarea que requiere de estrategias fundamentales que recientemente han tomado fuerza en países emergentes. En el afán por optimizar gastos y tiempos de reconstrucción por deterioro surgen modelos como el HDM-4, este tipo de modelo debe calibrarse con una cantidad importante de características adecuadas de la zona de estudio para obtener resultados como las curvas de deterioro que permiten estimar el tiempo adecuado de mantenimiento para una vía. Como este modelo, la mayoría de modelos existentes necesitan diferentes parámetros para su correcto funcionamiento y lograr obtener resultados confiables. En este artículo se hace uso de la geoestadística con el fin de evaluar la existencia o no de la posible correlación entre diferentes variables presentes en la zona de estudio, y definir por medio de un ejercicio básico si es viable el uso de ésta rama de las matemáticas para el desarrollo de un plan de gestión de mantenimiento vial.

Palabras clave: correlación, curvas de deterioro, geoestadística, gestión de mantenimiento vial.

Abstract

The administration and management to control the maintenance and condition of pavements road network to urban or national level is a task that requires fundamental strategies that have recently taken hold in emerging countries; in an effort to optimize costs and rebuild times impairment patterns emerge such as the recent HDM-4, this type of model must be calibrated with the appropriate study area to obtain results characteristics, such as deterioration curves for estimating adequate time for a road maintenance; as this model, most of the existing models need different parameters essential for proper operation. In this article geostatistics is used in order to assess the existence or not of the possible correlation between different variables in the study area, and defined by a basic exercise if it is feasible the use of this branch of the mathematics to develop a management plan for road maintenance.

Keywords: correlation, deterioration curves, geostatistics, road maintenance.

¹ Universidad Distrital FJC, emauciors@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El buen estado de la red vial de una ciudad cumple un papel fundamental para el desarrollo de la movilidad, de la economía y de la sociedad; por tanto, de su estado depende, en gran parte, el funcionamiento integral de la ciudad. Para la mayoría de las ciudades colombianas, la gestión de pavimentos enfocada a mantenimientos preventivos o correctivos es una práctica poco empleada o por lo menos a nivel de ejecución. El Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), entidad encargada de la administración de las principales vías de la ciudad de Bogotá ha realizado diversos estudios para lograr llevar a cabo una adecuada estructuración del inventario vial, e implementar modelos que permitan establecer un adecuado plan de mantenimiento vial, dentro de estos estudios se encuentra el realizado por Benzadón, Duarte, Hernández (2007) donde se realiza un sistema de gestión vial para Bogotá. En el presente escrito se realiza un ejercicio basado en geoestadística con el uso de variables básicas, en una zona puntual de la ciudad de Bogotá, con la cual se reproducen mapas de predicción con el objetivo de analizar la geoestadística como una alternativa viable para la gestión de un adecuado plan de mantenimiento vial.

ZONA DE ESTUDIO

Bogotá, la capital de Colombia, es una ciudad ubicada en el centro del país, tiene una extensión aproximada de 33 kilómetros de sur a norte, y 16 kilómetros de oriente a occidente. La orientación general de las vías de la ciudad está determinada porque sus carreras están construidas de sur a norte y sus calles de oriente a occidente, en un área urbana de aproximadamente 308 km² (Alcaldía, 2014). Actualmente posee una población estimada de 7'776'845 habitantes (DANE, 2014).

La zona específica del presente estudio está localizada entre las carreras 27 y 30, y las calles 13 y 19, en la localidad de los

Mártires, por esta zona transitan vehículos de transporte público por las vías principales (las ya mencionadas), transita transporte privado por las vías secundarias y la mayoría de las calles poseen dos carriles con pavimentos rígidos en diferentes condiciones de deterioro y otras en buen estado físico y estructural.



Figura 1: Localización geográfica de Bogotá
Fuente: (Alcaldía, 2014)

La zona específica del presente estudio está localizada entre las carreras 27 y 30, y las calles 13 y 19, en la localidad de los Mártires, por esta zona transitan vehículos de transporte público por las vías principales (las ya mencionadas), transita transporte privado por las vías secundarias y la mayoría de las calles poseen dos carriles con pavimentos rígidos en diferentes condiciones de deterioro y otras en buen estado físico y estructural.

DIAGNÓSTICO DE LA ZONA

La zona de estudio cuenta con pavimentos rígidos y la mayoría en un estado aceptable, sin embargo se encontraron pavimentos en buen, regular y mal estado. El deterioro de la malla vial de Bogotá no es un tema desconocido, por lo contrario es un inconveniente muy común en la ciudad. Según el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), en un reporte publicado en diciembre del año 2013 (IDU, 2013), el estado de la malla vial arterial presentaba un 17.33% de vías

en regular estado con un 12.37% en mal estado; la malla vial intermedia presentaba un 12.85% de vías en estado regular y 32.81% de vías en mal estado; la malla vial local se encontraba aún más afectada con un 20.75% en regular estado y un 55.55% de las vías en mal estado. En la zona utilizada para la realización del presente estudio se encuentran vías pertenecientes a la malla vial arterial principal e intermedia.

En la figura 2 se observa el estado del deterioro en la malla vial bogotana y refleja una pobre administración en cuanto a la gestión de planes de mantenimiento vial.

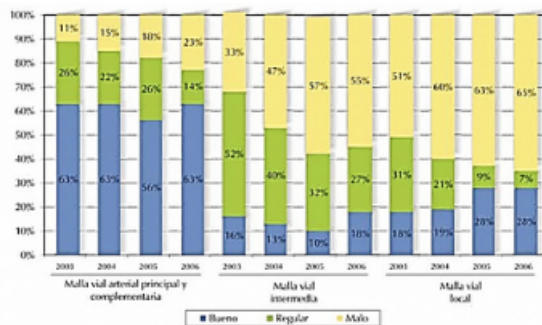


Figura 2: Deterioro de la malla vial en Bogotá 2003-2006

Fuente: (IDU, 2006)

DATOS Y MÉTODOS

Entre los datos tomados para el desarrollo del presente artículo no se tuvo en cuenta la edad ni los mantenimientos correctivos que pueda tener el pavimento actualmente, ya que es información de acceso restringido o inexistente; sin embargo es conveniente usar dicha información para estudios posteriores para zonas donde sí se tenga este conocimiento.

La técnica fundamental para realizar el análisis y la obtención de los resultados del presente estudio es la geoestadística, la cual es una rama de la estadística que trata fenómenos espaciales (Journel y Huijbregts, 1978); básicamente su objetivo

es la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos (Myers, 1987).

El estudio de fenómenos con correlación espacial, por medio de métodos geoestadísticos, surgió a partir de los años sesenta, con el propósito de predecir valores de las variables en sitios no muestreados. Aunque la aplicación de la geoestadística como técnica para predecir fenómenos espaciales es muy reciente, se ha utilizado en muchos estudios, en su mayoría ambientales (Giraldo, 1997).

En la geoestadística, las ubicaciones georreferenciadas (s) provienen de un conjunto (D) continuo y son seleccionadas a juicio del investigador (D fijo). Algunos ejemplos de datos que pueden ser tratados con esta metodología son: niveles de un contaminante en diferentes sitios de una parcela, valores de precipitación en Colombia medida en las diferentes estaciones meteorológicas en un mes dado o los niveles piezométricos de un acuífero (Giraldo, 1997). La geoestadística hace énfasis en la correlación espacial entre las observaciones para predecir valores de atributos en ubicaciones no muestreadas utilizando la información relacionada con uno o varios atributos. El método Kriging utilizado en el presente artículo se fundamenta en la teoría de la variable regionalizada (Matheron, 1963).

La gestión de pavimentos utilizando sistemas de información geográfica (SIG) y geoestadística como el que se propone a continuación, ofrece algunas características especiales que pueden mejorar el enfoque para el mantenimiento de las carreteras. El elemento clave que distingue esta metodología de otros sistemas de datos es la forma como los datos geográficos se almacenan y se accede a ellos. La incorporación de esta dimensión espacial al sistema de base de datos es la fuente de poder de los sistemas implementados con SIG (Pantha *et al.*, 2010).

La vinculación de la dimensión espacial y la administración de base de datos permiten a los SIG capturar las relaciones espaciales y topológicas entre entidades georreferenciadas. Las funciones estándar de un SIG incluyen temáticas de cartografía, estadísticas, manipulación de matrices, sistemas de soporte de decisiones, el modelado algoritmos, y el acceso simultáneo a varias bases de datos, la visualización ayuda a abordar los problemas en las dimensiones del espacio y el tiempo con mapas intuitivos, en lugar de aparecer dimensionalmente restringido a tablas y gráficos de datos.



Figura 3: Localización de la zona de estudio

La recopilación de los datos del presente estudio consistió en una visita a la zona para precisar las coordenadas de puntos aleatorios que presentaran diferentes condiciones de deterioro en el pavimento. De esta manera, se tomó una muestra en total de 66 puntos y se trataron de distribuir de manera uniforme en dicha zona.

Se analizaron estadísticamente cada una de las variables con su componente espacial con el fin de obtener una idea de la distribución espacial del estado de las vías, el nivel de tráfico y el tipo de pavimento. Por lo general,

el clima es una variable de importancia, pero en este caso por ser un estudio puntual el clima indicaría un mismo valor que no aportaría datos significativos.

La distribución espacial de la muestra tomada presenta un arreglo aleatorio de puntos dentro de la zona de estudio (figura 4).



Figura 4: Localización geográfica de Bogotá

Existe en la zona de estudio una tendencia más alta para los volúmenes altos de tránsito representados con el número 3 en el histograma de la figura 5; estas zonas de tránsito alto están representadas principalmente por las calles 13 y 19, y las carreras 27 y 30, que corresponden a los límites de la zona de estudio.

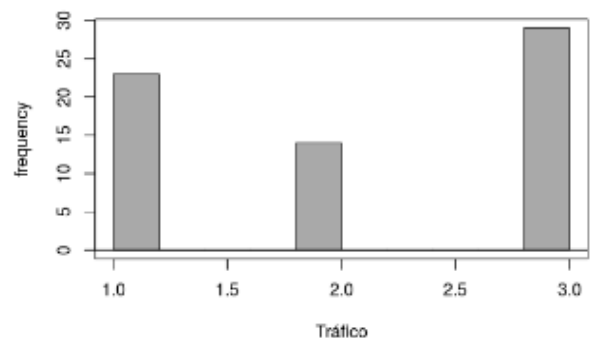


Figura 5: Histograma variable tránsito

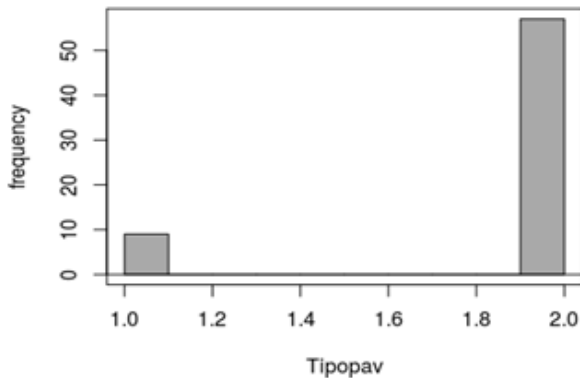


Figura 6: Histograma variable tipo pavimento

El tipo de pavimento predominante en la zona de estudio es el pavimento de concreto rígido, el cual se representa con el número 2 en el histograma de la figura 6.

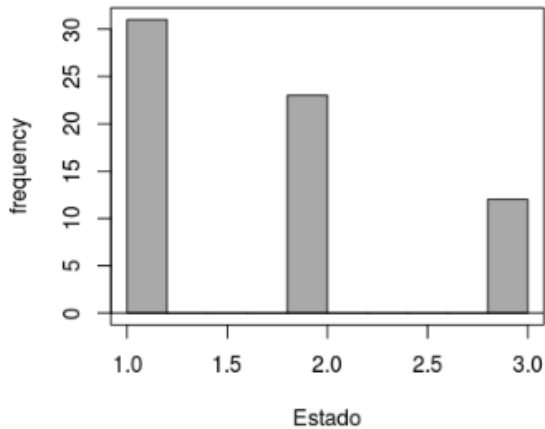


Figura 7: Histograma del estado de los pavimentos

En la figura 7 se observa que en general el estado de los pavimentos de la zona presenta un buen estado representado en el histograma de estado con el número 1; sin embargo existe la presencia de ciertos puntos regulares representados con el número 2 y sitios con pésimo estado, representados con el número 3.

Los diagramas de dispersión de la figura 8 indican la posible correlación entre las variables, en las casillas de la diagonal

principal se observan las tendencias que representan a los histogramas de cada variable. Otra observación visible es que el estado del pavimento tiene una relación con el tipo de tráfico, en la casilla superior derecha se observa que cuando el tráfico tiende a 2, o sea nivel medio, el estado de las vías tiende a 1, que es el valor que corresponde a un pavimento en buen estado.

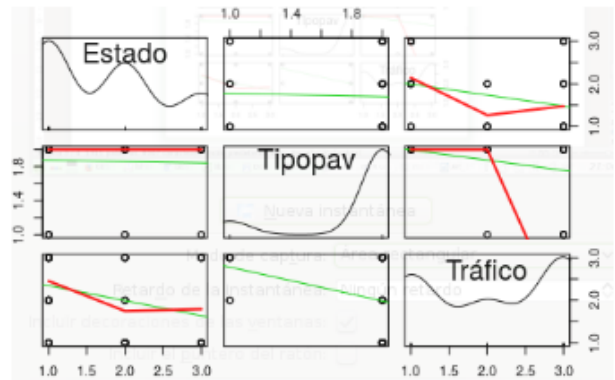


Figura 8: Matriz de diagramas de dispersión de las variables

RESULTADOS

Los variogramas resultantes para cada variable se desarrollaron con el modelo estable ya que se ajustó a las condiciones de los datos, aunque la variable “tipopav” carece de una distribución normal además de ser representado con dos valores únicamente.

En geoestadística, para abordar el método de Kriging simple se debe suponer que hay una variable regionalizada estacionaria con media m y covarianza conocidas, situación que en casos prácticos se da con poca frecuencia. Entonces, para tratar este caso se asume un modelo establecido en el cual el valor de la variable regionalizada será igual a la media más un error aleatorio con media cero. La diferencia con respecto a Kriging ordinario es que los errores no son independientes, serán ellos justamente sobre los cuales se establecerá la estructura de correlación (Melo, 2013).

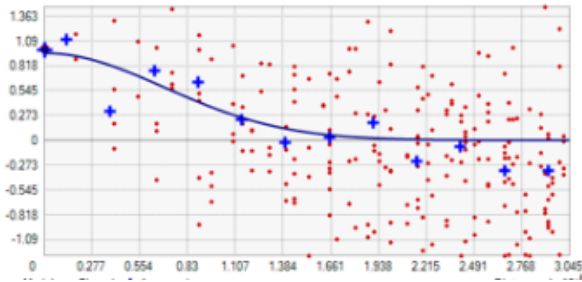


Figura 9: Variograma de la variable “tránsito” con el modelo estable

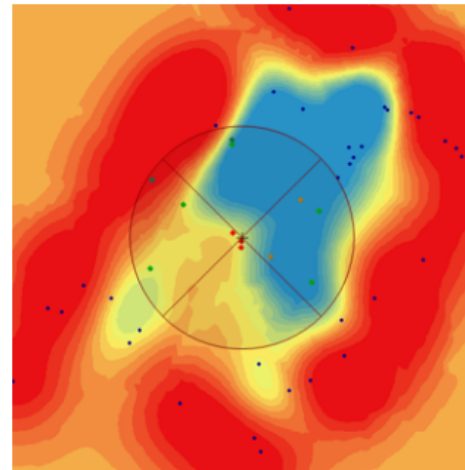


Figura 12: Mapa de predicción para la variable tránsito sobre la zona de estudio

En la Figura 12 se observa que la tendencia del tráfico alto se concentra en los límites de la zona de estudio y una concentración de un tráfico medio a alto en la zona sur correspondiente a la calle 19.

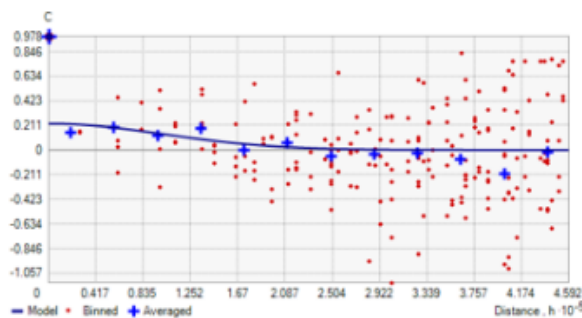


Figura 10: Variograma de la variable “estado” utilizando el modelo estable

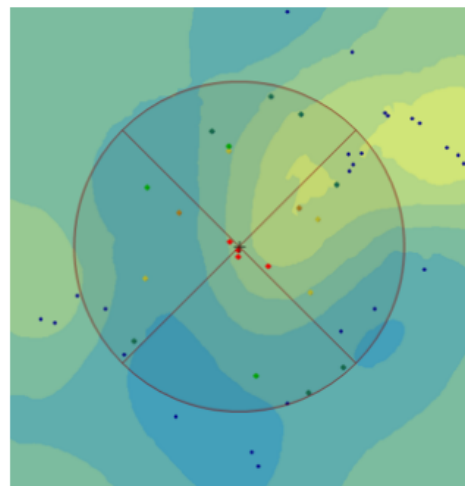


Figura 13: Mapa de predicción para la variable “estado”

Como se registró en la visita de campo, la calle 19, que presenta un deterioro mayor de nivel 3 en los datos, se encuentra representada con un color más claro en la Figura 13; los colores azules representan un mejor estado de las vías, se observa una

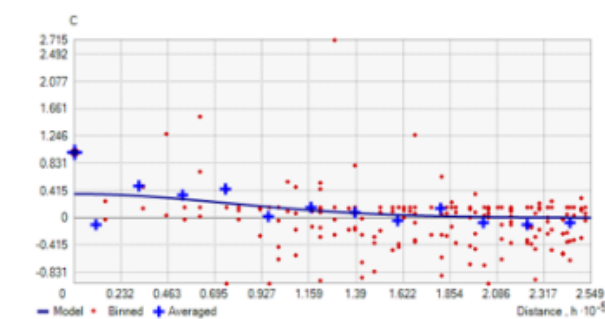


Figura 11: Variograma de la variable “tipopav” utilizando el modelo estable

Para el desarrollo de los mapas de predicción utilizando la distribución aleatoria de la muestra tomada, con el algoritmo de vecino cercano se usó Kriging simple.

tendencia a un deterioro medio en las carreras que conectan inmediatamente con la calle 19, esto es razonable debido al alto tráfico representado en la Figura 12 sobre la calle 19, ya que muchos de estos vehículos pueden estar accediendo por esta vía. Aunque la afirmación anterior resulta lógica, el caso de la comparación del tráfico y el estado de las vías en la parte sur presenta un comportamiento muy diferente.

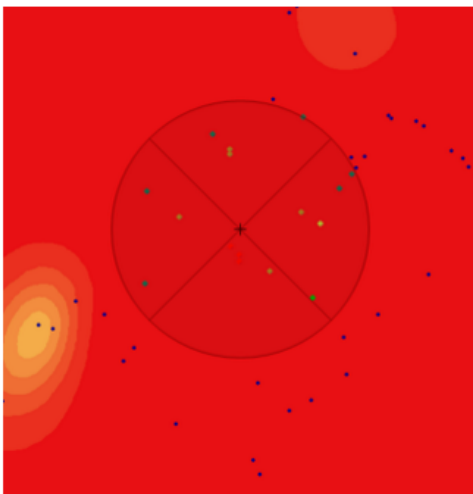


Figura 14: Mapa de predicción para la variable "tipopav"

En la figura 14 se observa que el tipo de pavimento rígido predomina con el color rojo excepto en el puente de la calle 13 con carrera 30, que se tomó como pavimento flexible y parte del puente de la calle 19 con carrera 30.

Al comparar las Figura 13 y 14, se puede analizar que los pavimentos flexibles existentes en la zona sur se encuentran en regular estado.

CONCLUSIONES

El uso de geoestadística puede resultar una alternativa conveniente para la predicción de comportamientos de deterioro en pavimentos si se cuenta con variables confiables en lo posible que representen más valores que los tomados para este estudio ya que con los resultados obtenidos para el estudio presente

con las variables analizadas se obtuvieron mapas de predicción con un comportamiento lógico.

La zona de estudio presenta en su mayoría pavimentos rígidos, por tanto no fue posible el análisis detallado de esta variable.

Los volúmenes de tránsito altos sin duda afectan el estado de las vías y aumentan el deterioro de estas, como se observó en los resultados obtenidos.

Una mayor densidad y diversificación de variables correlacionables pueden ayudar a que un estudio de este tipo funcione para gestionar el mantenimiento y mejorar la administración de una red vial por medio de un estudio espacial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía Mayor de Bogotá (2014). Ubicación de la ciudad. Recuperado el 05 de mayo de 2016 de: <http://www.bogota.gov.co/ciudad/ubicacion>
- Benzadón, Duarte, Hernández. (2007). Diseño e implementación de un sistema de gestión vial y de espacio público para Bogotá. Gerencia de infraestructura, publicado por: TNM Limited.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2014). Estimación y proyección de población nacional, departamental y municipal total por área 1985-2020. Bogotá. Recuperado de: www.dane.gov.co
- Giraldo, R. (1997). Introducción a la Geoestadística. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Estadística.
- Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) (2006). Información general de la malla vial para

- el año 2006. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría de Movilidad.
- Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) (2013). Estado de la Malla Vial a 31 Diciembre de 2013. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría de Movilidad.
- Journel, A. y Huijbregts, J. (1978). Mining Geostatistics. Nueva York: Academic Press.
- Matheron. (1963). Principles of geostatistics. Economic Geology. Littleton: Society of Economic Geologists.
- Melo, C. (2013). Notas de clase. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, Énfasis en Geomática.
- Myers, D. (1987). Optimization of Sampling Locations for Variogram Calculations. Water Resources Research, 23(3), 496-500.
- Pantha, B.R.; Yatabe, R. y Bhandary, N.P. (2010). GIS-based highway maintenance prioritization model: an integrated approach for highway maintenance in Nepal mountains. Journal of Transport Geography, 18(3), 426-433. doi:10.1016/j.jtrangeo.2009.06.016