

Análisis comparativo del cálculo del tamaño de muestra para la realización de encuestas domiciliarias en la construcción de una matriz origen-destino de pasajeros, entre un diseño muestral y la aplicación de un porcentaje de la población¹

A comparative analysis of calculating sample size for carrying out household surveys when constructing a passenger origin-destiny matrix between a sample design and applying a population percentage

Carlos Fabián Flórez Valero² y Rafael Alberto González Rodríguez³

RESUMEN

Es una práctica común en la ingeniería de transporte, la utilización de un porcentaje de los hogares de una ciudad como muestra para la realización de encuestas domiciliarias que permitan conocer el patrón de viajes de los habitantes. Teóricamente, el procedimiento consiste en calcular la muestra en función de los parámetros estadísticos de la variable que se pretende medir de la población. Esto implica la realización de una encuesta piloto, que en países con bajos recursos no es factible realizar por los costos que implica el conocer el valor de dichos parámetros de la población, ya que algunas veces los recursos son limitados exclusivamente para la realización de una muestra estimada de acuerdo a un porcentaje preestablecido. En las ciudades colombianas normalmente se trabajan porcentajes entre el 3% y el 6%, dependiendo del tamaño de la población. De manera coyuntural, la ciudad de Manizales, localizada a 300 km al oeste de la capital de Colombia, realizó en menos de cuatro años dos encuestas domiciliarias, de tal manera que para la realización de la segunda encuesta ya se conocía el valor de los parámetros del estimador. La Universidad Nacional de Colombia suscribió un convenio con la Alcaldía de Manizales para la elaboración de la nueva matriz origen-destino, en donde se tuvo la oportunidad de calcular la muestra en función de las variables estadísticas de rigor. En el desarrollo del artículo se mostrará un análisis comparativo entre estas dos metodologías, obteniendo que al estimar estadísticamente la muestra, se logra reducir de manera significativa el número de encuestas a realizar, obteniendo resultados prácticamente iguales.

Palabras clave: diseño muestral, planificación del transporte, matriz origen-destino de pasajeros.

ABSTRACT

Using a percentage of a city's households is a common practice in transport engineering leading to knowing the inhabitants' journey pattern. The procedure theoretically consists of calculating the sample based on the statistical parameters of population variable which one wishes to measure. This requires carrying out a pilot survey which cannot be done in countries having few resources because of the costs involved in knowing the value of such population parameters, because resources are sometimes exclusively destined to making an estimated sample according to a pre-established percentage. Percentages between 3% and 6% are usually used in Colombian cities, depending on population size. The city of Manizales (located 300 km to the west of Colombia's capital) carried out two household surveys in less than four years; when the second survey was carried out the values of the estimator parameters were thus already known. The Manizales' mayor's office made an agreement with the Universidad Nacional de Colombia for drawing up the new origin-destiny matrix, where it was possible to calculate the sample based on the pertinent statistical variables. The article makes a comparative analysis of both methodologies, concluding that when statistically estimating the sample it is possible to greatly reduce the number of surveys to be carried out, but obtaining practically equal results.

Keywords: design, transport planning, passenger origin-destiny matrix.

Recibido: agosto 16 de 2006

Aceptado: marzo 1 de 2007

¹ Caso Manizales, Colombia.

² Ingeniero civil. Especialista y M.Sc., en ingeniería de transporte, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Investigador, Programa de Investigación en Tránsito y Transporte, Departamento de Ingenierías Civil y Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. cfflorezv@unal.edu.co

³ Ingeniero civil, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Investigador, Programa de Investigación en Tránsito y Transporte, Departamento de Ingenierías Civil y Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. ragonalezro@unal.edu.co

Introducción

Para la realización del análisis comparativo del cálculo del tamaño de muestra en la realización de encuestas domiciliarias dentro de la construcción de una matriz origen-destino de pasajeros, tanto en un diseño muestral riguroso como en la aplicación de un porcentaje de la población, se tomó la experiencia obtenida por la Universidad Nacional para el caso de la ciudad de Manizales.

Para el 2005 se estimaba para el área urbana de la ciudad de Manizales una población cercana a los 360.000 habitantes. El criterio básico que se ha de tener en cuenta para evaluar el tamaño de una muestra es la representatividad de la población estudiada. Una muestra representativa es un subconjunto de la población, cuya frecuencia de ciertos atributos es semejante a la de la población total de la cual ha sido tomada.

El cálculo del tamaño de la muestra determina la cantidad de información pertinente a un parámetro relevante,⁴ en este caso el número de viajes por hogar, considerado como la variable indicativa de la población. Inicialmente se conservó la misma zonificación de la ciudad para mantener una representatividad en la comparación.

El tamaño de la muestra es función básica de factores importantes como la desviación estándar, el nivel de confianza y el error de estimación. En el caso de las entrevistas domiciliarias, por medio de una muestra de hogares, se busca estimar un conjunto de parámetros, entre los cuales están la media, el total y la proporción de viajes. Por tal motivo, el tamaño de muestra se definirá con el parámetro crítico o de mayor importancia para el análisis.

De acuerdo al objetivo fundamental del estudio de movilidad urbana, el cual buscaba definir los patrones de viaje de la población del área de estudio, se estableció como parámetro crítico la media de viajes, determinado por hogar, ya que la unidad básica de toma de información es el hogar.⁵

Por ello, es necesario tener una estimación muy ajustada del número de hogares en la ciudad y su localización geográfica, de forma que los resultados que se obtengan en la encuesta puedan ser representativos del total de la población.

En ese sentido, y tomando en consideración los procedimientos y las técnicas estadísticas, se requiere como primera medida disponer de un universo de muestreo lo más completo posible, con el objeto de asegurar que cuando se proceda a efectuar la selección de la muestra, cualquier hogar del área de estudio tenga igual probabilidad de ser seleccionado, lo cual claramente implica que la totalidad de las viviendas deben formar parte del universo muestral. Al realizar la encuesta en una vivienda que tenía más de un hogar, esta se aplicaba a todos los hogares, de

tal manera que se garantizará obtener el número mínimo de muestra establecido.

Dentro de los trabajos adelantados referentes a la movilidad urbana de la ciudad de Manizales, durante los últimos cinco años se han realizado dos estudios para analizar el comportamiento de los viajes generados por hogar, mediante la elaboración de encuestas domiciliarias. Este material permitió dar inicio a un estudio integral sobre tendencias de aglomeración y crecimiento, y su impacto en la movilidad de los habitantes, en los diferentes modos de transporte motorizados y no motorizados.

Marco teórico

Tamaño de la muestra

Robert (1973), recomienda tamaños de muestra ideales y mínimos para estudios de transporte urbano según la población de dicha área, de tal manera que para el caso de la ciudad de Manizales, cuya población se encuentra en la categoría de 300.000 a 500.000 habitantes, sería recomendable tomar uno (1) de cada quince (15) hogares o como mínimo uno (1) de cada (50).

Las recomendaciones sobre tamaños de la muestra indicarían que para Manizales convendría realizar la entrevista a 5,818 hogares y mínimo a 1.746.

Es cierto que más importante que la cantidad de encuestas realizadas es la manera como se toma la información y la calidad de la misma, por lo cual, un número superior al mínimo recomendado podría ser adecuado.

Para el área de estudio de Manizales se previó realizar 4.200 encuestas a hogares, de acuerdo a los cálculos realizados.

Finalmente, es importante considerar que el tamaño de la muestra ha de estar estrechamente relacionado a la confiabilidad y el error esperado para la medición de una variable específica que experimenta determinado comportamiento (variabilidad); así, si se supone una variable "normal", podría emplearse la expresión 1:

$$n = \frac{CV^2 * Z\alpha^2}{e^2} \quad (1)$$

Siendo:

n : Tamaño de la muestra.

CV : Coeficiente de variación.

$Z\alpha$: Valor de la variable normal estándar (0,1) para el nivel de confianza α requerido.

e : Nivel de exactitud (error) expresado como proporción.

El coeficiente de variación CV es función del valor promedio (X) de la variable a medir y de su desviación estándar (δ), mediante la expresión 2:

⁴ Para el caso del estudio fue el número de viajes por hogar.

⁵ En una vivienda pueden existir varios hogares.

$$CV = \frac{\delta}{X} \quad (2)$$

Por ejemplo, si se pretendiera estimar el número de hogares a encuestar en la ciudad con base en:

Datos tomados de la encuesta del 2001

- Promedio de viajes por hogar en una muestra 6.33
- Desviación estándar en una muestra 4.23
- Nivel de confianza 95%, entonces:
- $Z\alpha = 1.645$
- Error aceptable 5%

Así:

$$n = \frac{(4,23/6,33)^2 * 1.645^2}{0,05^2}$$

Es decir, dadas las condiciones indicadas, bastaría entrevistar 483 hogares para obtener con el 95% de confiabilidad y 5% de error esperado, el valor promedio de los viajes por hogar, para la población analizada.

Si se es menos exigente en cuanto a la confiabilidad y se acepta un error mayor, entonces el tamaño de la muestra se reduce. Si se requiere obtener el valor medio de la variable para cada una de las zonas en que se ha dividido una ciudad, se necesitaría contar con dichas variables de entrada para la variable a medir por zona.

Si el coeficiente de variación de la variable a estimar es menor, el tamaño de la muestra se reduciría. En fin, el tamaño de la muestra estará acorde con la naturaleza de la variable a medir y con la estratificación que se haga dentro del área de estudio.

Metodología A: encuesta año 2001

En esta encuesta se tomó como muestra para la realización de las encuestas, un porcentaje fijo de los hogares de cada una de las zonas, definido en un 5,5%, valor establecido en función de los recursos disponibles.

Estudio de origen-destino

Desarrollado a partir de encuestas domiciliarias realizadas en la ciudad de Manizales, durante el año 2001.

Para la selección de la muestra se tomaron como principales insumos los resultados del censo de 1993, en el cual se estableció que la población del municipio de Manizales era en dicho año de 327.663 habitantes en total, de los cuales 303.136 corresponden a la cabecera; en el caso de Villamaría,⁶ se establecieron 33.848 habitantes en total y 25.024 en cabecera. Con estos datos se obtiene un total para el área urbana de los dos municipios de 328.160 habitantes en el año 1993.

Con la información del número de habitantes y de hogares en el departamento de Caldas, se obtuvo un valor promedio de 4,2 habitantes por hogar, con lo cual se estimó un total de 78.133 hogares en los dos municipios para el año 1993.

Trabajando con el crecimiento de la población nacional para el período 1993–2000 (11,74%), se hizo una proyección del número de hogares para las dos áreas urbanas de 87.275.

Considerado lo indicado anteriormente, para estudios de transporte urbano se acostumbra utilizar una muestra entre el 3% y el 6%; para este caso se tomó del 5% de los hogares del área de estudio.

Tipo de muestreo

En cuanto al tipo de muestreo, se optó por realizar uno aleatorio por conglomerados, considerando las agrupaciones primarias establecidas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), es decir, los sectores-secciones-manzanas, para cada uno de los cuales se conocen los datos asociados sobre el número de viviendas, el de hogares y el de personas.

Dentro de cada conglomerado: sector-sección, se seleccionaron aleatoriamente algunas de sus manzanas. Se contó con una base de 3.086 manzanas, de las cuales fueron escogidas 569 considerando que cada conglomerado sector-sección estuviera representado. Dentro de cada manzana seleccionada se tomó aleatoriamente el 40% de sus viviendas y todos los hogares que se encontraran en cada una de ellas. En total, se realizaron tres mil novecientos setenta y nueve encuestas (3.979).

Resulta conveniente revisar lo planteado por los expertos sobre este tema, es por esto que se incluye a continuación una síntesis de los criterios presentados por Ortúzar y Willumsen, 1995, para estos casos:

- *El tamaño de las zonas debe ser tal que el error de agregación causado por el supuesto de que todas las actividades se concentran en el centroide no sea muy grande. Es conveniente iniciar proponiendo un sistema con zonas pequeñas, el cual puede luego ser agregado de distintas formas posteriormente, dependiendo de la naturaleza de los proyectos que requieran ser evaluados.*
- *El sistema zonal debe ser compatible con otras divisiones administrativas, particularmente con las zonas censales; este es probablemente el criterio fundamental y los demás pueden ser seguidos, solamente si no son inconsistentes con él.*
- *Las zonas deben ser lo más homogéneas posible en cuanto al uso del suelo y/o la composición de la población.*
- *Los límites de las zonas deben ser compatibles con los cordones y líneas pantallas y con sistemas de zonificación anteriores. Sin embargo, se ha encontrado en la*

⁶ Municipio conurbado con la ciudad de Manizales

práctica que el uso de vías principales como límites de zonas debe ser abolido, porque este hecho incrementa considerablemente la dificultad de asignación de viajes a las zonas, cuando estos viajes se originan o terminan justamente en tales límites.

- *La forma de las zonas debe permitir una determinación fácil de los centroides y sus conectores, lo cual es importante posteriormente en la estimación de características intrazonales. Una zona debe permitir relacionar adecuadamente su área y la red de transporte mediante conectores de centroide y representar el principal costo de acceso a dicha zona.*
- *Las zonas no deben tener tamaño igual, conviene generar zonas más pequeñas en áreas congestionadas que en las que no tienen este problema.»*

En lo referente a la zonificación de la encuesta de 2001, se establecieron 57 zonas (Figura 1) numeradas de 1 a 63, donde no existen los números 1, 12, 13, 15, 16, 43, 44 y 62 y se adicionan dos zonas con los códigos 1001 y 1004.

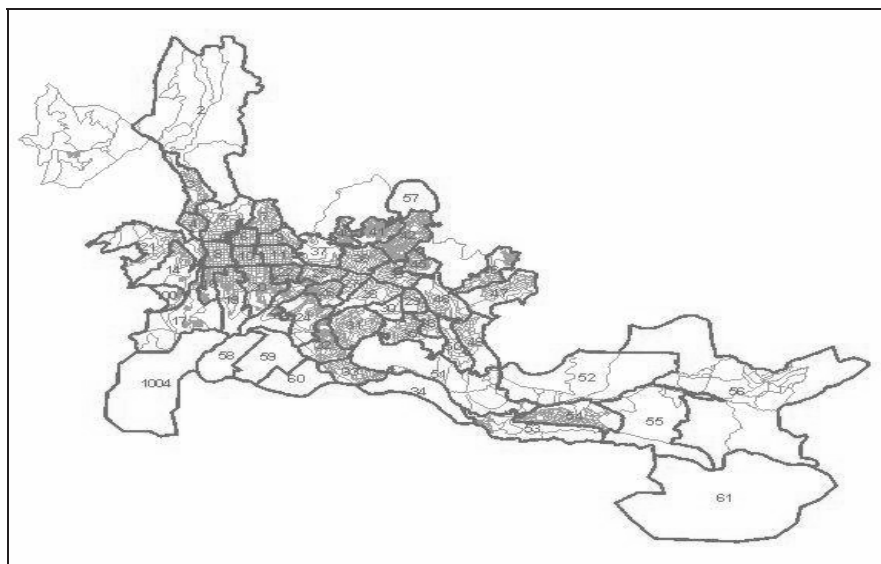


Figura 1. Zonas de análisis de transporte (ZAT) – Metodología A y B

Resultados

Como principal resultado de esta toma de información, se generaron las matrices origen–destino de viajes totales, por propósito, horario, modo de transporte, ocupación de las personas, edad, estrato, entre otras.

Por otro lado como complemento de las matrices enunciadas se presentaron los mapas de zonas generadoras y atractoras de viajes.

Generación y atracción de viajes

Con los cuadros resumen suministrados se hizo una asociación con las 57 zonas y la información resultante se pasó a

TransCad,⁷ para poder generar los planos de generación y atracción de viajes de la ciudad.

Las zonas en donde se generan mayor cantidad de viajes diarios son las zonas 8, 10 y 11, pertenecientes en su mayoría a la comuna 3, en donde se encuentran ubicados los barrios Los Agustinos, Centro y Delicias. Otras zonas altamente generadoras son la zona 59, donde se encuentra el municipio de Villamaría; la zona 20, donde los barrios de El Nevado, Marmato, Campoamor y San Joaquín; la zona 5, barrio de Campohermoso; la zona 9, con los barrios de San José y La Estrada; la zona 27, con el barrio Versalles; la zona 38, con los barrios Los Cedros, San Jorge, La Argentina y La Asunción, y La Zona 54, con el barrio La Enea.

Las zonas que generan menos cantidad de viajes son, entre otras, la zona 56 (barrio Maltería), la zona 5 (barrio Juanchito) y la zona 52 (barrio La Alhambra), parte sur occidental de la ciudad; la zona 2 (Bella Montaña) en el nororiente de la ciudad y algunas de las zonas ubicadas en el sur, entre otras. La mayoría de los viajes atraídos se concentran en las zonas centrales de Manizales.

Aunque los viajes generados se dispersan un poco más dentro de la ciudad, de todas formas prevalecen zonas de los barrios centrales como las grandes generadoras de viajes, tal como se observa en el plano de la Figura 2.

Por último, en cuanto a las zonas de atracción de viajes en la hora pico (Figura 2) toma importancia la zona 56 (Maltería) y continúan siendo importantes las zonas centrales y la zona 54, barrio La Enea, pero siempre esto mostrando un comportamiento en ambas metodologías de tres picos de viajes al día como se

muestra en la Figura 3.

Caracterización de patrones

Considerando que la demanda de transporte se “deriva” de las actividades de los individuos miembros de un hogar y que esta se encuentra “localizada” espacialmente, se hace necesario caracterizar los hogares, los individuos y los viajes, con el propósito de extraer conclusiones sobre su movilidad para el presente y poder pronosticar comportamientos futuros.

Caracterización de los hogares

El hogar es una de las unidades más importantes de análisis en la medida en que existen conexiones interpersonales internas que definen muchos de los comportamientos respecto a viajes. Entre esas conexiones se puede mencionar la

⁷ Software de sistema de información geográfica del transporte.

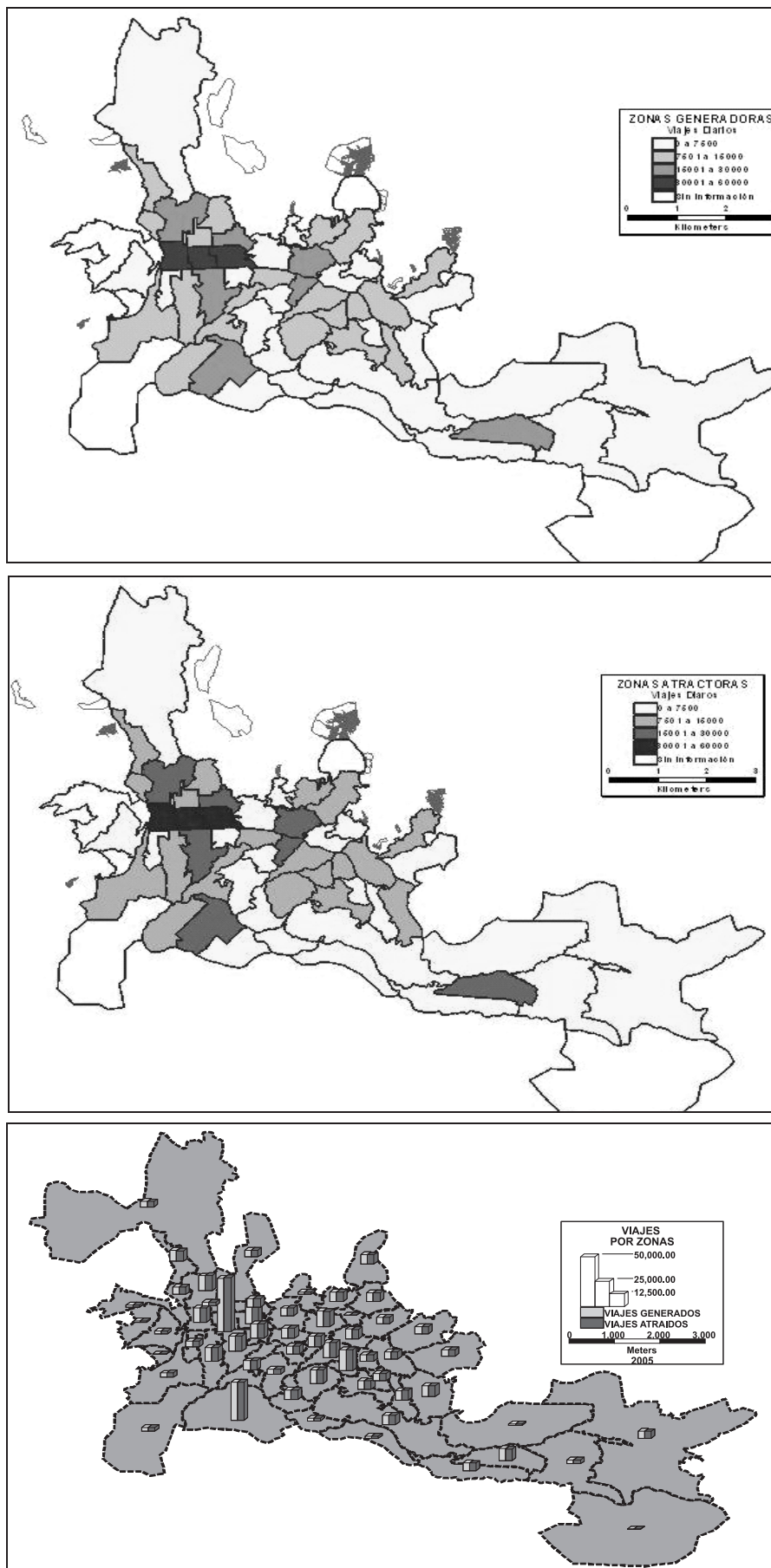


Figura 2. Comparativo por zonas atractoras y generadoras de viajes por zona – Metodología A y B

propiedad y el uso de vehículos, la distribución de funciones específicas como la de realizar compras o llevar a los niños al colegio, etc. En el documento se presentan gráficamente (Figura 4 y Figura 5) algunos de los resultados más importantes a este nivel.

Distribución de viajes según motivo

De acuerdo con la distribución y considerando los motivos más importantes, esta información sirve para soportar medidas administrativas de ajuste en los horarios de entradas y salidas. Se observa una alta proporción de viajes con motivo hogar, asociadas con el tamaño de la ciudad, según lo cual los desplazamientos son pendulares, tomando como eje el hogar, tanto en la metodología A como en la B, (figuras 6 y 7).

Matrices origen-destino

La aplicación de una encuesta origen-destino da como principal resultado matrices que describen las magnitudes y las características de los viajes entre las diferentes zonas de la ciudad. Dado el número de zonas en que se dividió la ciudad, las diferentes matrices sólo se presentan en el módulo de consulta dispuesto para dicho propósito y en el cual es posible observar e imprimir las siguientes matrices:

- General diaria
- Por períodos típicos
- Por modo de transporte
- Por propósito del viaje
- Por estrato del hogar
- Por tamaño del hogar
- Por ocupación del viajero
- Por edad del viajero
- Por horario y motivo del viaje
- Por horario y medio de transporte

Intervalos de confianza y cálculo del error

De acuerdo al teorema del límite central y la aproximación de la distribución binomial a la distribución normal estándar, se pueden estimar intervalos de confianza para un nivel de significancia dado y además calcular el error de estimación sobre cada proporción estimada en la muestra. Si se toma un nivel de significancia del 5%, se muestran los intervalos de confianza y el

error máximo esperado en cada una de las categorías en que se ha considerado dividir la variable de estudio.

Metodología B: encuesta 2005

Esta metodología, aplicada por la Universidad Nacional de Colombia en el estudio realizado en el año 2005, establece como muestra para la realización de encuestas domiciliarias, el valor obtenido mediante la expresión 3:

$$n = \frac{N * (Z\alpha/2)^2 * \sigma^2}{N * (\bar{x} * E)^2 + (Z\alpha/2)^2 * \sigma^2} \tag{3}$$

Los valores de la variable de medición (número de viajes) de la población fueron obtenidos a partir de la metodología B del 2001.

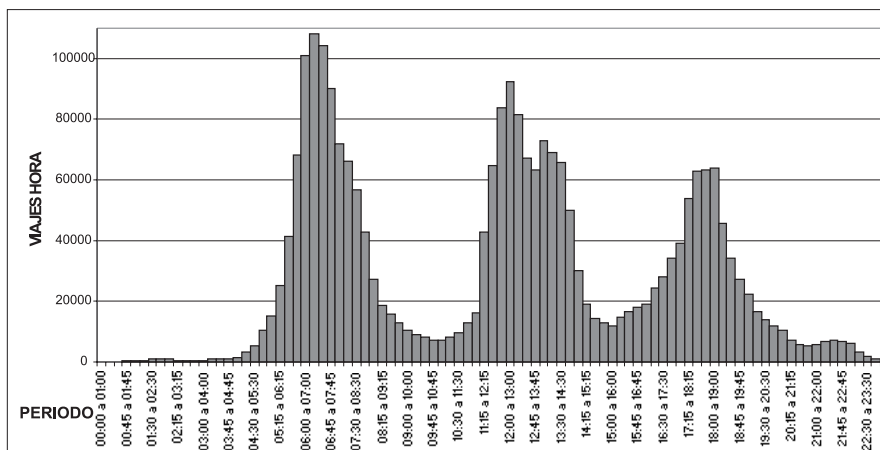
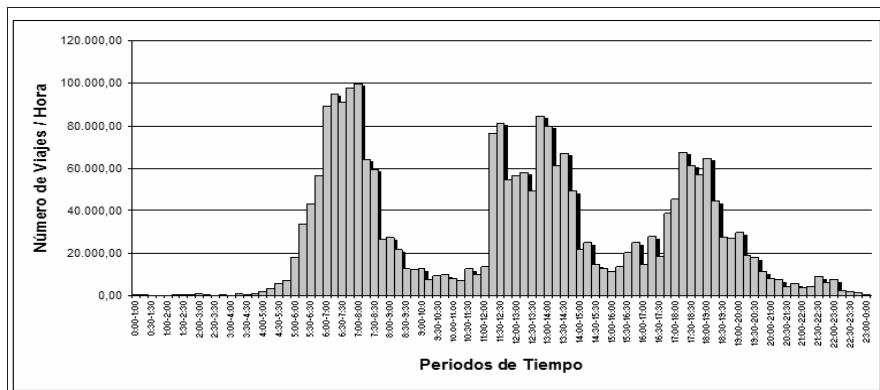


Figura 3. Comparativo entre viajes hora - metodología A y B

Zonificación del área de estudio

De acuerdo con los objetivos del trabajo y con el ánimo de plantear las bases de desarrollo y análisis de transporte y urbanismo futuros, el área de estudio fue dividida en zonas de análisis de transporte (ZAT), dentro de las cuales se busca evaluar las características de los viajes de la población.

La zonificación del área urbana, finalmente adoptada, es mostrada en la Figura 1, la cual correspondió a la misma utilizada en la metodología A, para efectos de comparación.

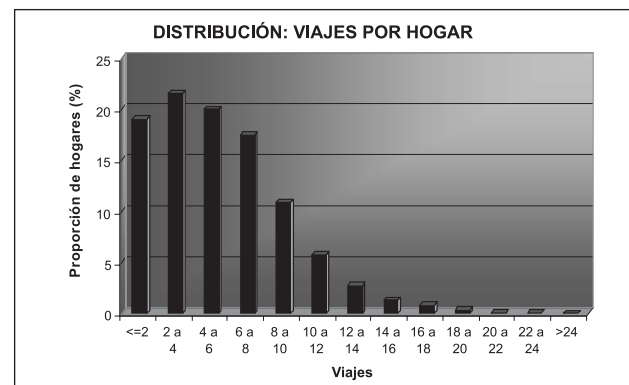
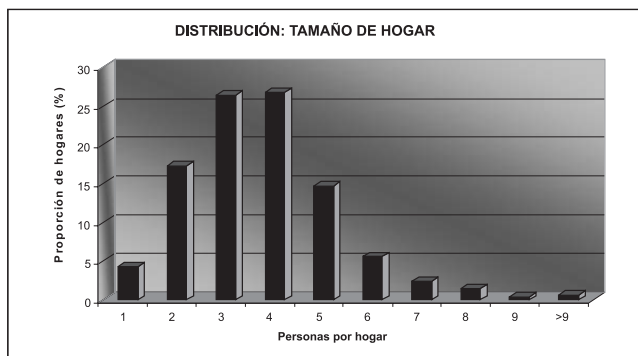
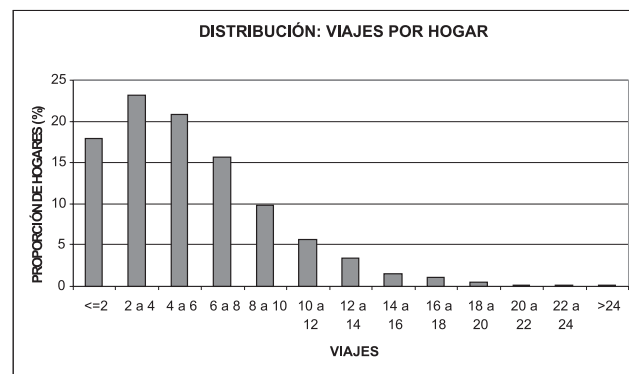
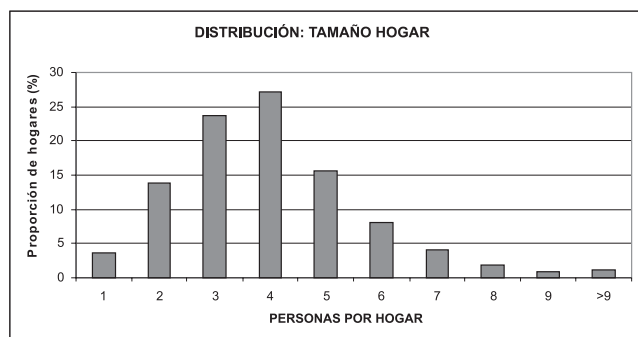


Figura 4. Comparativo entre tamaño de hogar - metodología A y B

Figura 5. Comparativo entre tamaño de hogar - metodología A y B

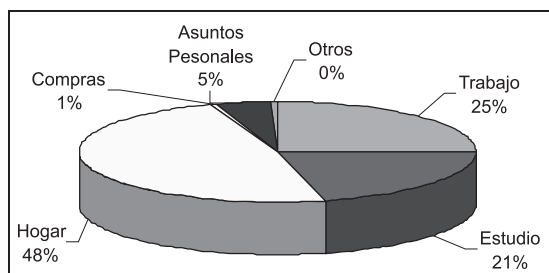


Figura 6. Viajes por motivo – Metodología A

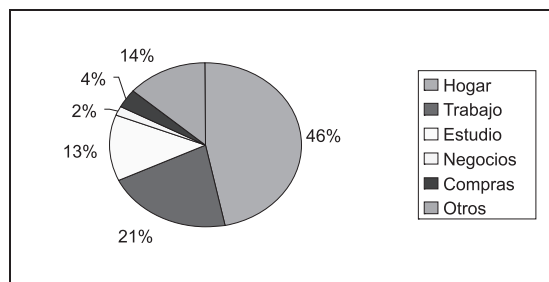


Figura 7. Viajes por motivo – Metodología B

El estudio origen-destino estuvo orientado a establecer la caracterización de la demanda de transporte en el área de estudio y así mismo, a obtener los indicadores básicos de evaluación del sistema de transporte público, apoyando las futuras actividades enmarcadas dentro de la planificación de transporte en la ciudad.

Para el 2005 se estimaba para el área urbana de la ciudad de Manizales una población cercana a los 360.000 habitantes, es decir, se encuentra entre los 300.000 y los 500.000 habitantes, incluyendo la cabecera de Villamaría; razón por la cual se ha decidido que el estudio de origen - destino de los viajes urbanos debe estar constituido por una encuesta domiciliaria. En ese sentido, dicho estudio permite recolectar información de las características de los residentes, a diferencia de los casos en que se realizan encuestas en vehículos de transporte público.

Encuestas domiciliarias

La toma de información consiste en la recolección de datos relacionados con los viajes diarios de los residentes de una vivienda en un día típico dentro de la región urbana, por medio de una entrevista a los habitantes de las viviendas seleccionadas.

El método tiene como objetivo principal definir las características de los viajes que tienen como origen un hogar de la población estudiada. El hogar, determinado como la unidad básica de toma de información, permite caracterizar la tasa de generación y atracción de viajes referenciada a la zona de residencia como área conocida de salida y llegada permanente de los desplazamientos.

Tamaño de la muestra

Para el año 2005 fue necesario tener una estimación muy ajustada del número de hogares en la ciudad y su

localización geográfica, de forma que los resultados que se obtengan en la encuesta puedan ser representativos del total de la población.

En ese sentido, y tomando en consideración los procedimientos y las técnicas estadísticas usuales, se requiere como primera medida disponer de un universo de muestreo lo más completo posible, con el objeto de asegurar que cuando se proceda a efectuar la selección de la muestra, cualquier hogar del área de estudio tenga igual probabilidad de ser seleccionado, lo cual claramente implica que la totalidad de las viviendas de la ciudad deben formar parte del universo muestral.

Entendiendo que para el momento del estudio se enfrentó el problema de no disponer de un censo de población y de vivienda reciente, se recurrió a la utilización de las bases de datos de usuarios disponibles en las empresas de servicios públicos domiciliarios, en particular en aquellas de mayor cubrimiento.

Teniendo en cuenta que las medias de las muestras se distribuyen normalmente con respecto a la media de la población, se puede deducir que la ecuación referenciada anteriormente permite determinar el tamaño de muestra para estimar la media de viajes por hogar de la población, con un límite E para el error máximo de estimación.

Encuesta de hogares

El propósito de la encuesta de hogares fue recopilar información de los patrones de viajes de los habitantes de Manizales y Villamaría.

Las encuestas piloto permiten detectar posibles fallas o inconsistencias en la realización de la misma y en el tipo de preguntas del formulario. Otro objetivo de dichas encuestas, y el más importante, es conocer la desviación típica de los viajes de la población a encuestar; para este fin, se utilizó la desviación típica de los viajes de cada zona obtenida en la encuesta de hogares del año 2001 (metodología A), entendiendo que dicha variable es intrínseca de los hogares y no es afectada por la diferencia de tiempo, siempre y cuando las dinámicas urbanas se mantengan constantes. Este dato fue de gran ayuda, ya que permitió realizar el diseño de muestra zonalmente y no globalmente, como es usual en este tipo de encuesta.

Para la realización de la encuesta de 2005 fue considerado el total del área urbana de la ciudad de Manizales, las encuestas se efectuaron durante el período comprendido entre el 16 de mayo y el 10 de junio del 2005. Cabe resaltar que la manera como se hizo la pregunta acerca del patrón de viajes de los habitantes, permitía llevar a cabo la encuesta durante cualquier día de la semana, ya que se preguntó sobre los viajes que se efectúan en una semana típica.

Para la determinación de la muestra se utilizaron las bases de datos de usuarios de la empresa Aguas de Manizales,

encargada del servicio de acueducto de dicho municipio, siendo este el servicio público de mayor cobertura, según lo expresaron funcionarios de la Alcaldía.

Otros autores recomiendan que para el caso específico de una población como la del área urbana de Manizales, una muestra representativa corresponde a un porcentaje que oscila entre el 2% y el 6.7% de las viviendas (Bruton, 1975). De acuerdo a la información recopilada se decidió tomar una muestra aleatoria zonal, y debido a la heterogeneidad de estratos residenciales que se encuentran en Manizales, se obtuvo una mayor precisión de la encuesta en la realización del muestreo sobre zonas y no sobre el total de los hogares de la ciudad.

La principal información obtenida en la Encuesta de Hogares está relacionada con la movilidad de las personas, representada en los viajes que se dan entre dos lugares. Esto implicó dividir la ciudad en zonas que representarían los orígenes y los destinos de los viajes observados.

Como se mencionó anteriormente, para que fuesen comparables los resultados de la encuesta realizada con los resultados de la elaborada en 2001, se mantuvo la misma nomenclatura de zonas utilizadas en este año. Como resultado de dicho proceso se llegó a la distinción de 54 zonas de análisis de transporte (ZAT), con las cuales se codificaron los lugares de residencia, las áreas comerciales y los orígenes y destinos de los viajes.

El diseño estadístico aplicado a la muestra que fue encuestada permite determinar la representatividad que tiene esta sobre la población, de manera que es válido expandir la muestra y encontrar los viajes totales de la población, sus propósitos y modos de transporte empleados.

La operación mecánica de selección, indispensable en el muestreo probabilístico, se obtiene haciendo uso de un conjunto de números seleccionados adecuadamente de una tabla de números aleatorios, que identifique a un conjunto de números en una lista de unidades de muestreo. De las unidades listadas y seleccionadas se hace la identificación de un conjunto de unidades físicas que serán las que constituyan la muestra final.

Utilizando un error inicial del 12,5% y un nivel de confianza del 95%, se obtuvo una muestra equivalente al 4,2% de la población. Es importante resaltar que la muestra calculada fue incrementada en un 10% para asegurar el retorno del número necesario de encuestas válidas por zona. Por esto, la muestra finalmente obtenida fue un 1% mayor a la inicial (Tabla 1).

Conclusiones

En el desarrollo y análisis de los resultados obtenidos a partir de las dos metodologías (A y B), se observa claramente la misma tendencia en los resultados, por ejemplo: en el caso de los viajes por motivo, tanto en la metodología A (Figura

6) como en la metodología B (Figura 7), se ve el mismo comportamiento de los motivos de hogar, trabajo y estudio, lo que demuestra la validez del modelo B; por otra parte, un comparativo clave es el porcentaje del n , (

Tabla 2), donde en la metodología A se trabajó con un 4,2% y en la B con un 5,5%, lo que incide en un error del 11,4% y del 12,5%, respectivamente. Utilizando un intervalo de confianza del 95% en ambos casos, se observa una disminución de un punto en el error, lo que en la práctica no es significativo.

Tabla 1. Error obtenido por zona – metodología B

ZAT	N	n(obtenido)	Error
2	358	103	12%
3	2243	83	12%
4	1109	55	11%
5	2473	135	11%
6	607	109	12%
7	1673	72	12%
8	1657	95	10%
9	922	71	11%
10	690	55	11%
11	1517	92	11%
12	378	49	12%
14	826	66	11%
17	1643	81	12%
18	1411	84	10%
19	2114	54	13%
20	3204	89	12%
21	218	56	11%
22	1300	80	10%
23	2077	71	12%
24	1713	79	12%
25	1641	107	11%
26	1484	56	11%
27	706	112	12%
28	1023	56	12%
29	668	53	12%
31	3145	107	11%
32	2038	68	12%
33	877	85	12%
34	214	50	11%
35	2193	48	11%
36	850	57	12%
37	540	131	11%
38	2909	93	10%
39	1256	116	12%
40	1228	44	12%
41	2211	81	11%
42	2732	44	15%
43	1732	91	10%
45	1827	80	12%
46	2123	110	9%
47	1912	148	9%
48	1045	77	12%
49	1981	113	10%
50	1049	79	12%
51	707	78	11%
52	205	77	13%
53	448	42	13%
54	4000	174	11%
57	2819	81	11%
58	7407	128	8%
64	154	44	12%
65	150	42	14%

Los resultados obtenidos mediante las dos metodologías del cálculo de muestra arrojaron resultados muy similares, con un ahorro importante de recursos en la metodología B, para evidenciar claramente esto se muestra un comparativo de realizada por la Universidad Nacional de Colombia. Las gráficas comparativas se observan al final del documento.

En la Tabla 3 se muestra un paralelo de los principales resultados obtenidos con cada metodología, ello muestra que se reduce el número de encuestas de manera significativa (de 5,5% a 4,2%).

Tabla 2. Análisis de los errores para las dos metodologías.

ZONA MODELO A	% MODELO A	n MODELO A	ZONA MODELO B	% MODELO B	n MODELO B
2	5.50%	266	2	37.60%	273
3	5.50%	990	3	8.10%	1014
4	5.50%	1076	4	5.00%	1102
5	5.50%	3350	5	3.40%	3430
6	5.50%	1048	6	13.50%	1073
7	5.50%	3184	7	2.70%	3260
8	5.50%	1777	8	4.50%	1820
9	5.50%	2883	9	2.20%	2952
10	5.50%	991	10	6.10%	1015
11	5.50%	1281	11	6.80%	1312
12	5.50%	654	12	7.80%	670
14	5.50%	564	14	10.80%	578
17	5.50%	1618	17	5.00%	1657
18	5.50%	560	18	13.00%	574
19	5.50%	4065	19	1.60%	4162
20	5.50%	5558	20	1.50%	5691
22	5.50%	1760	22	4.20%	1802
23	5.50%	2615	23	2.60%	2678
24	5.50%	915	24	8.40%	937
25	5.50%	2040	25	5.60%	2089
26	5.50%	1431	26	3.60%	1466
27	5.50%	1240	27	9.60%	1270
28	5.50%	853	28	7.20%	874
29	5.50%	631	29	9.20%	646
32	5.50%	1504	32	5.00%	3801
33	5.50%	1028	33	8.60%	1540
34	5.50%	1359	34	9.00%	1053
35	5.50%	1180	35	4.20%	1392
36	5.50%	737	36	7.70%	1209
37	5.50%	421	37	25.90%	755
38	5.50%	2871	38	2.90%	432
39	5.50%	717	39	15.10%	2940
40	5.50%	1192	40	3.40%	735
41	5.50%	1556	41	4.70%	1221
42	5.50%	2933	42	2.50%	1593
43	5.50%	2561	43	2.50%	3003
45	5.50%	1562	45	5.40%	2622
46	5.50%	2461	46	3.20%	1600
47	5.50%	1439	47	6.60%	2520
48	5.50%	703	48	11.80%	1474
49	5.50%	1347	49	7.30%	720
50	5.50%	580	50	13.40%	1380
51	5.50%	597	51	11.90%	594
53	5.50%	820	53	7.60%	612
58	5.50%	2121	58	3.00%	840
59	5.50%	3647	59	2.20%	3864
Total general	5.50%	74686	Total general	4.20%	78245

Se concluye que se pueden reducir los costos de toma de información al máximo sin desmejorar la calidad de los

Tabla 3. Comparación de las dos metodologías

ERROR (%)	NIVEL DE CONFIANZA (%)	n (%)
12.5	95	4.2
12.42	95	4.3
12.33	95	4.4
12.25	95	4.5
12.16	95	4.6
12.08	95	4.7
11.99	95	4.8
11.91	95	4.9
11.82	95	5
11.74	95	5.1
11.65	95	5.2
11.57	95	5.3
11.48	95	5.4
11.4	95	5.5

resultados, lo cual se logró realizando un procedimiento de cálculo como el que se utilizó en la metodología B, quedando demostrado para el caso de la ciudad de Manizales que un diseño muestral riguroso por zona, basado en información de una encuesta previa, disminuye la cantidad y mantiene la calidad de los resultados.

Bibliografía

- Bautista-Sierra, J. L., Técnicas de Diseño de Encuesta, 2000.
- Ortúzar, J. de D. y Willumsen, L. G., Modelling Transport., 2º ed. Ed John Wiley & Sons, Chichester, 1995.
- Ortúzar, J. de D., Modelos de Demanda de Transporte., 2º ed. Alfaomega, México., 2000.
- Robert, L., Planificación Analítica del Transporte., Instituto de Estudios de Administración Local, Madrid., 1973.
- Unión Temporal Asuntos Urbanos – Wilmer Pipicano., Estudio de Origen y Destino a Partir de Encuestas Domiciliarias, en la Ciudad de Manizales., Manizales, 2001.
- Universidad Nacional De Colombia., Plan de Movilidad para el Municipio de Manizales., Manizales, 2005.