

CONTENIDO

1. OBJETIVOS DEL TRABAJO	2
2. PROCEDIMIENTOS DE MODELACIÓN, PARÁMETROS Y ACTUALIZACIÓN DE LA RED.....	3
2.1 PROCEDIMIENTOS DE MODELACIÓN MULTIMODAL	3
2.1.1 Funciones volumen / demora	4
2.1.2 Precarga de camiones.....	7
2.2 ACTUALIZACIÓN DE LA RED	12
3. CONSOLIDACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE LA ENCUESTA DOMICILIARIA	15
3.1 PROCESAMIENTO DEL ARCHIVO DE UNIÓN	15
4. PRINCIPALES RESULTADOS.....	19
4.1 DISTRIBUCIÓN DE LOS VIAJES POR MEDIO DE TRANSPORTE	19
4.1.1 Distribución por medio detallado	19
4.1.2 Distribución por medio agregado.....	21
4.1.3 Repartición modal.....	22
4.2 DISTRIBUCIÓN DE LOS VIAJES POR MOTIVO	22
4.3 DISTRIBUCIÓN DE VIAJES POR ESTRATO	23
4.4 DISTRIBUCIÓN HORARIA DE VIAJES	26
4.4.1 Distribución horaria de viajes por medio de transporte	26
4.4.2 Distribución horaria de viajes por motivo.....	28
4.5 ÍNDICES DE MOVILIDAD.....	28
4.5.1 Índice de movilidad total	28
4.5.2 Índice de movilidad motorizada	29
4.5.3 Distribución geográfica del índice de movilidad	29
4.6 TASA DE MOTORIZACIÓN.....	33
4.7 ESTRATO PROMEDIO Y PROPIEDAD DE AUTO	34
4.8 DISTRIBUCIÓN DE LOS VIAJES POR TIEMPO DE VIAJE.....	36
4.8.1 Distribución de los viajes por tiempo de acuerdo con el medio utilizado	36
4.8.2 Distribución de los viajes por tiempo de acuerdo con el motivo que genero el viaje	36
4.9 TASAS DE TRASBORDO	38
4.9.1 Tasa de trasbordo interna a TransMilenio.....	38
4.9.2 Tasa de trasbordo de TransMilenio a alimentadoras	39

4.9.3	Tasa de trasbordo total público	39
5.	METODOLOGÍA DE AJUSTE DE LOS FACTORES DE EXPANSIÓN DE VIAJES EN LA ENCUESTA DE MOVILIDAD	41
5.1	AJUSTE DE GENERACIÓN	41
5.2	AJUSTE DE REPARTO MODAL	53
5.3	AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN HORARIA	61
6.	CALIBRACIÓN DE LAS MATRICES DE VIAJES EN LA RED	69
6.1	EXTRACCIÓN DE MATRICES A PARTIR DE LA ENCUESTA	69
6.2	ASIGNACIÓN DE LAS MATRICES EN LA RED	69
6.2.1	Consideraciones sobre la base de datos de aforos actualización 2005	69
6.2.2	Asignación del Transporte privado	71
6.3	OBTENCION DE MATRIZES AGREGADAS POR UPZ	79
6.3.1	Calibración del Transporte privado	80
6.3.2	Calibración de velocidades en la red vial	84
6.3.3	Calibración del Transporte publico	85
6.4	EFFECTO GENERAL DE LA SEQUENCIA DE AJUSTES	93
7.	CONCLUSIONES	95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación vial	4
Tabla 2 Valores de los parámetros	5
Tabla 3 Funciones Básicas de relaciones de velocidad	11
Tabla 4 Desagregación Zonas Soacha	12
Tabla 5 Distribución de los viajes por medio detallado de transporte	19
Tabla 6 Distribución de los viajes por modo agregado de transporte	21
Tabla 7 Repartición modal de los viajes	22
Tabla 8 Distribución de viajes por motivo	23
Tabla 9 Distribución de viajes por estrato socioeconómico	24
Tabla 10 Índice de Viajes por Habitante	29
Tabla 11 Índice de Viajes Motorizados por Habitante	29
Tabla 12 Distribución de viajes por estrato socioeconómico.	34
Tabla 13 Tasa de trasbordo interna a TransMilenio	39
Tabla 14 Tasa de trasbordo Transmilenio alimentador	39
Tabla 15 Tasa de trasbordo Transmilenio alimentador	40
Tabla 16 Índices de generación de viajes por habitante	41
Tabla 17 Viajes en los modos público y privado	53
Tabla 18 Viajes en los modos público y privado ajustados por reparto modal	54
Tabla 19 Comparación de viajes en modo Transmilenio	63
Tabla 20 Resultados globales de los ajustes realizados	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Función Volumen/Demora - Tiempo	5
Figura 2 Función Volumen/Demora - Velocidad	6
Figura 3 Frecuencias de rutas de transporte público en la hora pico de la mañana	6
Figura 4 Volúmenes de camiones en la hora pico mañana	7
Figura 5 Volúmenes de camiones en la hora pico tarde.....	8
Figura 6 Relación de Velocidad del Automóvil y el Bus –Vía 1 Autopista	9
Figura 7 Relación de Velocidad del Automóvil y el Bus –Vía 2	9
Figura 8 Relación de Velocidad del Automóvil y el Bus –Vía 3	10
Figura 9 Relación de Velocidad del Automóvil y el Bus –Vía 4	10
Figura 10 Relación de Velocidad del Automóvil y el Bus por tipo de vía.....	11
Figura 11 Red física	13
Figura 12 Rutas de Transporte Público	13
Figura 13 Actualización de la rutas alimentadoras de Transmilenio.....	14
Figura 14 Distribución de los viajes por medio detallado de transporte.	20
Figura 15 Distribución de los viajes por modo agregado de transporte.....	21
Figura 16 Repartición modal de los viajes	22
Figura 17 Distribución de viajes por motivo	23
Figura 18 Distribución de viajes por estrato socioeconómico	24
Figura 19 Distribución de viajes por estrato socioeconómico y por modo agregado	25
Figura 20 Distribución de viajes de la encuesta totales durante las 24 horas	26
Figura 21 Distribución de viajes de la encuesta en modo privado durante las 24 horas.....	27
Figura 22 Distribución de viajes de la encuesta en transporte público durante las 24 horas.....	27
Figura 23 Distribución de viajes de la encuesta durante las 24 horas por motivo del viaje	28

Figura 24 Índice de movilidad total por zonas de la ciudad	30
Figura 25 Índice de movilidad motorizada por zonas de la ciudad	31
Figura 26 Distribución de la generación de viajes por zonas de la ciudad.	32
Figura 27 Distribución de la tasa de motorización por zonas de la ciudad.....	33
Figura 28 Distribución la cantidad de vehículos por cada 1000 vehículos por zonas de la ciudad, de acuerdo con estrato socioeconómico	35
Figura 29 Frecuencia de viajes por duración en periodos de cinco minutos, de acuerdo con el medio de transporte utilizado	36
Figura 30 Frecuencia de viajes por duración en periodos de cinco minutos, de acuerdo con motivo de viaje 2 y 3.....	37
Figura 31 Frecuencia de viajes por duración en periodos de cinco minutos, de acuerdo con motivo de viaje 4 y 5.....	37
Figura 32 Frecuencia de viajes por duración en periodos de cinco minutos, de acuerdo con motivo de viaje 6 y 8.....	38
Figura 33 Población y viajes generados Estrato 1	42
Figura 34 Población y viajes generados Estrato 2.....	42
Figura 35 Población y viajes generados Estrato 3.....	43
Figura 36 Población y viajes generados Estrato 4.....	43
Figura 37 Población y viajes generados Estrato 5.....	44
Figura 38 Población y viajes generados Estrato 6.....	44
Figura 39 Factores de ajuste por generación	45
Figura 40 Comparación de Viajes por zona domiciliaria con y sin ajuste por generación.....	46
Figura 41 Viajes por zona domiciliaria con y sin ajuste por generación. Estrato 1.....	47
Figura 42 Viajes por zona domiciliaria con y sin ajuste por generación. Estrato 2.....	48
Figura 43 Viajes por zona domiciliaria con y sin ajuste por generación. Estrato 3.....	49
Figura 44 Viajes por zona domiciliaria con y sin ajuste por generación. Estrato 4.....	50
Figura 45 Viajes por zona domiciliaria con y sin ajuste por generación. Estrato 5.....	51
Figura 46 Viajes por zona domiciliaria con y sin ajuste por generación. Estrato 6.....	52
Figura 47 Factores de ajuste por reparto modal	54

Figura 48 Diferencia porcentual absoluta de viajes en transporte publico con y sin ajuste por reparto modal por zona residencial.....	55
Figura 49 Viajes en transporte publico con y sin ajuste por reparto modal por zona residencial.....	56
Figura 50 Diferencia porcentual absoluta de viajes en transporte privado con y sin ajuste por reparto modal por zona residencial.....	57
Figura 51 Viajes en transporte privado con y sin ajuste por reparto modal por zona residencial	58
Figura 52 Porcentaje de viajes en transporte público y privado sin ajuste por reparto modal por zona residencial.....	59
Figura 53 Porcentaje de viajes en transporte público y privado con ajuste por reparto modal por zona residencial.....	60
Figura 54 Fluctuación horaria de registros de entrada en estaciones Transmilenio	61
Figura 55 Histograma de Tiempo de caminata para acceder a Transmilenio	62
Figura 56 Comparación de viajes en Transmilenio, encuesta ajustada vs. registros de Transmilenio .	63
Figura 57 Comparación de viajes en Transmilenio, encuesta ajustada vs. registros de Transmilenio .	64
Figura 58 Origen de Viajes con y sin ajuste. Periodo pico AM	66
Figura 59 Destino de Viajes con y sin ajuste. Periodo pico PM.....	67
Figura 60 Diferencias absolutas en viajes origen -destino con y sin ajuste. Periodo pico AM y PM....	68
Figura 61 Comparación aforos transporte privado 2003 (rojo) y 2005 (azul)	70
Figura 62 Comparación entre los puntos de misma ubicación entre los dos años	70
Figura 63 Comparación aforos transporte público 2003 (rojo) y 2005 (azul)	71
Figura 64 Con los aforos 2005	72
Figura 65 Con los aforos 2003	72
Figura 66 Ajuste por aforos	73
Figura 67 Distribución de los factores de ajuste por viaje.....	74
Figura 68 Aplicación del ajuste	74
Figura 69 Comparación de distribución de matriz.....	75
Figura 70 Distribución de viajes acumulados.....	76
Figura 71 Distribución de los factores de ajuste por viaje – Transporte Publico	77

Figura 72 Aplicación del ajuste	78
---------------------------------------	----

PRESENTACIÓN

Este informe presenta el trabajo realizado para la Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá para la validación de las matrices resultantes de la encuesta de movilidad mediante la modelación de transporte.

El informe incluye todos los procedimientos utilizados en el desarrollo de la obtención de factores de expansión ajustados para la encuesta de movilidad.

El informe está dividido en siete capítulos. El primer capítulo presenta los objetivos del trabajo.

En el Capítulo 2 se presentan las características y parámetros definidos en la modelación de la red de transporte preexistente, así como las modificaciones y actualizaciones aportadas dentro de este trabajo.

En el Capítulo 3 se presentan los procedimientos para la consolidación de la base de datos proveniente de la encuesta de movilidad.

El Capítulo 4 presenta los principales resultados de la encuesta domiciliar e indicadores globales.

En el Capítulo 5, los procedimientos utilizados y la metodología aplicada para los ajustes globales de la encuesta, en términos de generación de viajes, reparto modal y distribución horaria.

En el Capítulo 6, los resultados obtenidos a partir de la confrontación de las matrices de viajes extraídas de la encuesta de movilidad con la red de transporte, y los ajustes realizados.

E finalmente en el Capítulo 7, se presentan las conclusiones, límites del trabajo, recomendaciones y perspectivas para la calibración del modelo de planeación de transporte de Bogotá.

1. OBJETIVOS DEL TRABAJO

El estudio tiene como objetivo revisar y verificar el nivel de actualización de la red vial georreferenciada disponible en la ciudad.

Así mismo, actualizar la información relacionada con la red vial georreferenciada de acuerdo con las necesidades del presente estudio, incluyendo los arcos faltantes, información de parámetros de modelación, información de la operación actual de vehículos por sentido y de transporte público (oferta y demanda) en puntos definidos para utilizar en la validación.

Realizar el proceso de modelación en transporte ejecutando las asignaciones que sean necesarias en por lo menos dos períodos del día, que coincidan con las franjas pico de viajes del día típico y una en un período valle, de una hora cada uno, sobre la red actualizada. Y una vez realizado el proceso de revisión y validación obtener un índice de correlación admisible.

En el proceso de calibración se han considerado los componentes de oferta física y operativa: Volúmenes vehiculares y velocidades de viaje para transporte privado y pasajeros transportados por ruta y por corredor e índice de ocupación para transporte público.

Una vez realizada la calibración de los componentes de oferta física y operativa se extraen los resultados de la asignación para confrontarlos contra los obtenidos de los estudios específicos para los períodos seleccionados, con el fin de realizar la validación de las matrices obtenidas, tanto de transporte público como de transporte privado, a través del proceso de ajuste realizado.

Como segunda etapa, y tomando en cuenta los resultados de la etapa previa, se realiza el procedimiento de ajuste de las matrices para mejorar el índice de correlación basados en la información de campo disponible dentro de la red.

2. PROCEDIMIENTOS DE MODELACIÓN, PARÁMETROS Y ACTUALIZACIÓN DE LA RED

2.1 PROCEDIMIENTOS DE MODELACIÓN MULTIMODAL

La modelación multimodal, a través de la interacción entre el transporte público y privado, permite evaluar los impactos en el sistema de transporte como un todo.

A partir de la calibración de la red de transporte privado, tanto en relación a los volúmenes de carros observados como a la velocidad observada en la red, es calculada la velocidad de los buses, considerando las condiciones del tráfico, y permitiendo una representación mucho más fiel de las condiciones de operación de los buses.

La interacción entre los dos modos de transporte es completa: inicialmente, la asignación de los vehículos privados toma en consideración los volúmenes de buses circulando en la calle, en función de la frecuencia de las rutas y del tipo de vehículo; y la asignación del transporte público depende de las condiciones generales del tráfico.

De esta manera, cualquiera cambio de ruta de transporte o de sus características operacionales implica en cambios para la red de transporte privado. Recíprocamente, una alteración de la red vial tiene sus repercusiones representadas sobre el transporte público.

El primero paso de la modelación multimodal es la consideración de los volúmenes equivalentes de buses en la asignación de transporte privado, los cuales están considerados automáticamente en las funciones de asignación volumen / demora, por la definición de los itinerarios, frecuencias y tipos de vehículos de las rutas definidas en el modelo. Ese procedimiento simple está explicado a continuación en la calibración de la red de transporte privado. Son considerados también volúmenes exógenos de camiones en vehículos equivalentes estimados a partir de aforos.

La definición de la red vial está desarrollada a partir de la adopción de una clasificación vial, con número de carriles, capacidad por carril, y velocidad de flujo libre. La capacidad por carril proviene de un ajuste con datos de volúmenes observados y la existencia de semáforos.

Tabla 1 Clasificación vial

Tipo de Vía	Nombre	Ancho
1	Autopista	100
2	Arterial 1	60
3	Arterial 2	40
4	Arterial 3	30
5	Local	18-25

Fuente: Elaboración Propia a partir del POT de Bogotá.

2.1.1 Funciones volumen / demora

Las funciones volumen / demora usadas en el modelo corresponden a una calibración hecha en el año 2002 a partir de datos de volumen y velocidad por tipo de vía.

Son funciones ajustadas por prueba y error, para compaginar los volúmenes asignados con los observados y al mismo tiempo las velocidades observadas y las velocidades obtenidas con la aplicación de las funciones, debido a la inexistencia de estudios específicos en la ciudad para calibrar las funciones volumen / demora.

La función utilizada es una función combinada, conocida como función Davis en la literatura. Su formulación está dada por:

si $V/C \leq 1$

$$T_1 = T_0 * (A - b * (V/C)) / (A - (V/C))$$

si $V/C > 1$

$$T_1 = T_0 * ((A - b) / (A - 1)) * (V/C)^k$$

Donde:

V = volumen

C = capacidad

T_1 = tiempo resultante en el arco

T_0 = tiempo con velocidad de flujo libre

A, b, k = parámetros de calibración

BM 58 STT
**VALIDACIÓN DE LAS MATRICES RESULTANTES DE LA ENCUESTA
DE MOVILIDAD MEDIANTE LA MODELACIÓN DE TRANSPORTE**

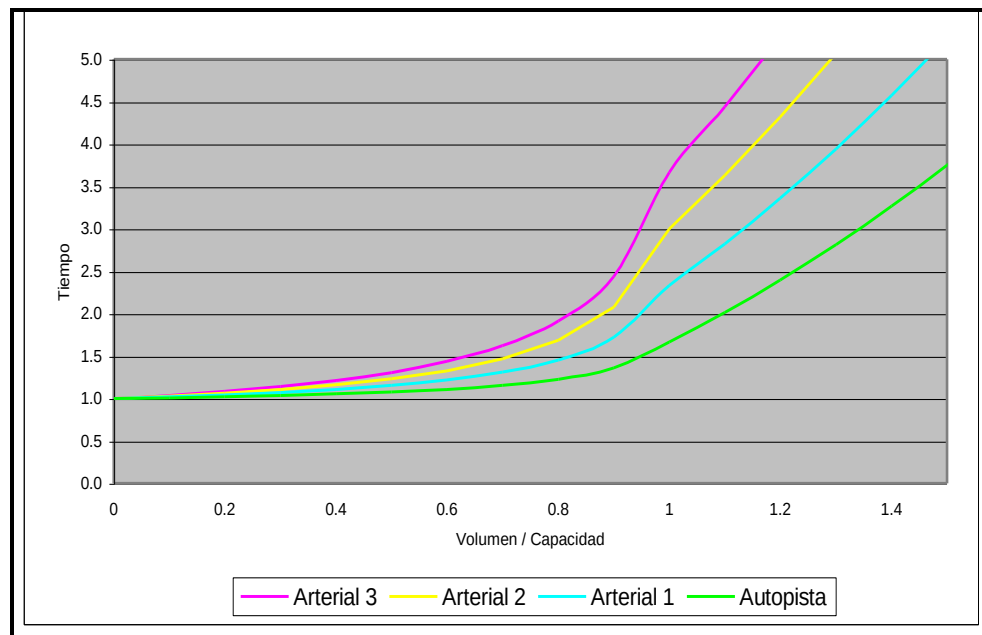
Tabla 2 Valores de los parámetros

Código de vía	Tipo de vía	Valor de A	Valor de b	Valor de k
1	Autopista	1,15	0,9	2
2	Arterial 1	1,15	0,8	2
3	Arterial 2	1,15	0,7	2
4	Arterial 3	1,15	0,6	2
5	Local	1,15	0,8	2

Fuente: Elaboración Propia

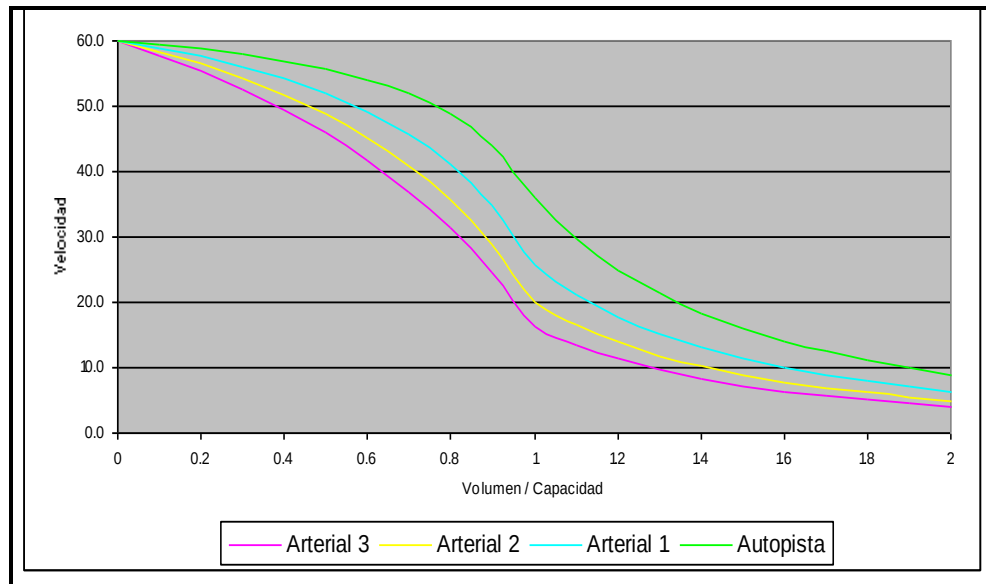
Las funciones se ilustran en las siguientes figuras:

Figura 1 Función Volumen/Demora - Tiempo



Fuente: Elaboración Propia

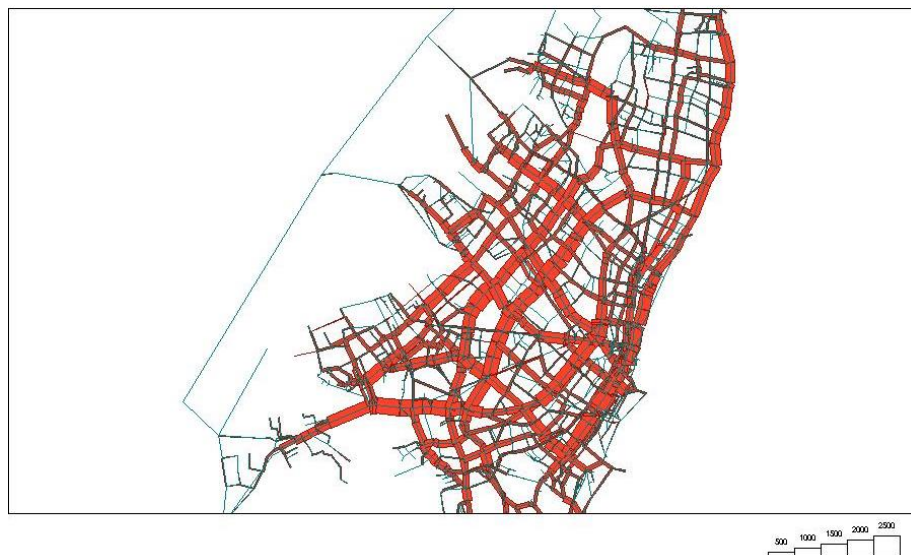
Figura 2 Función Volumen/Demora - Velocidad



Fuente: Elaboración Propia

Para la asignación del transporte privado, los volúmenes equivalentes de buses son considerados como precarga en la red, a partir de los itinerarios, frecuencias, y tipo de vehículo de las rutas. La siguiente figura muestra las frecuencias de las rutas.

Figura 3 Frecuencias de rutas de transporte público en la hora pico de la mañana



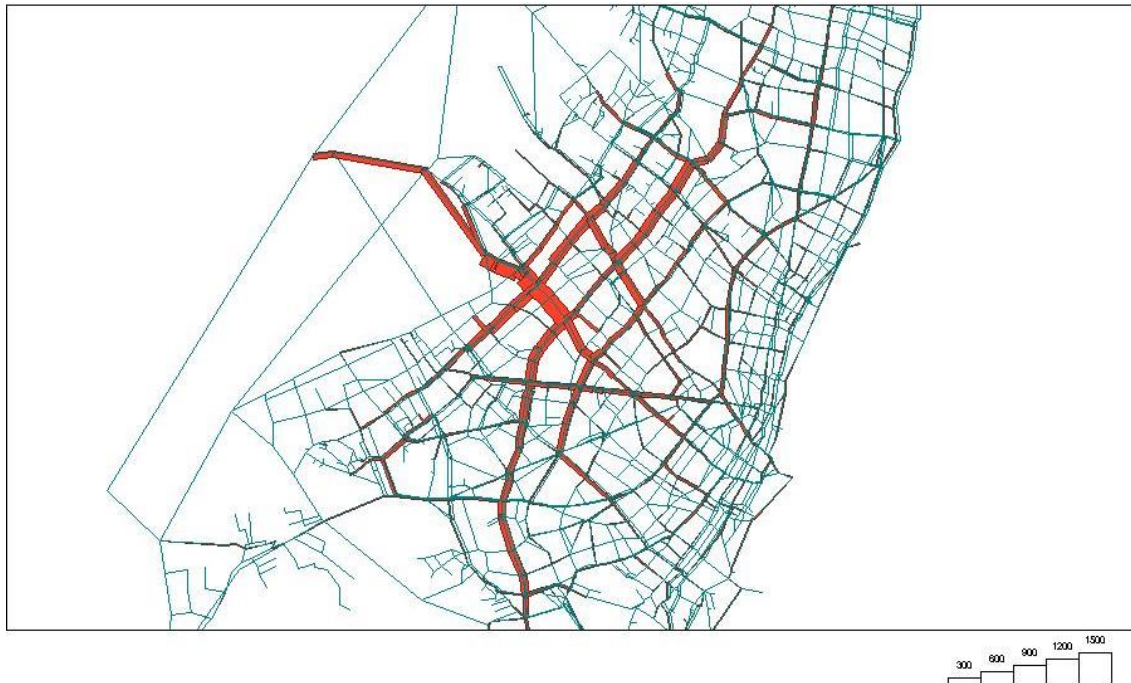
Fuente: Elaboración Propia

2.1.2 Precarga de camiones

Una precarga de volúmenes de camiones también está considerada en la red de modelación. Los volúmenes de camiones fueron reajustados en este trabajo a partir de nuevos aforos. No es posible extraer matrices de camiones a partir de la encuesta domiciliaria ya que no tiene la representatividad adecuada. Por lo tanto las matrices sintéticas de camiones fueran estimadas a partir de una estructura de viajes proveniente de un modelo de distribución basado en los viajes de automóvil. Esta opción es preferible a utilizar la estructura de distribución observada en la encuesta para los vehículos privados, debido a la baja distribución inherente a este tipo de datos que impide un ajuste adecuado por contener pocos pares origen-destino.

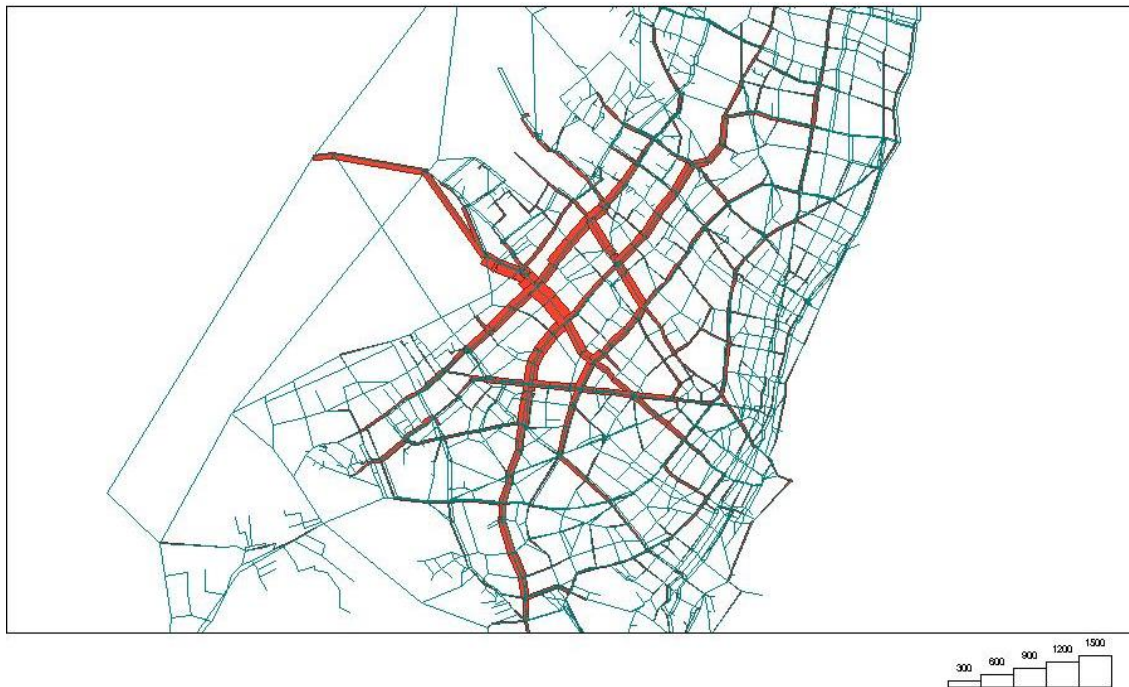
Los volúmenes de camiones están considerados en la red con un factor de 2 en vehículos equivalentes.

Figura 4 Volúmenes de camiones en la hora pico mañana



Fuente: Elaboración Propia

Figura 5 Volúmenes de camiones en la hora pico tarde



Fuente: Elaboración Propia

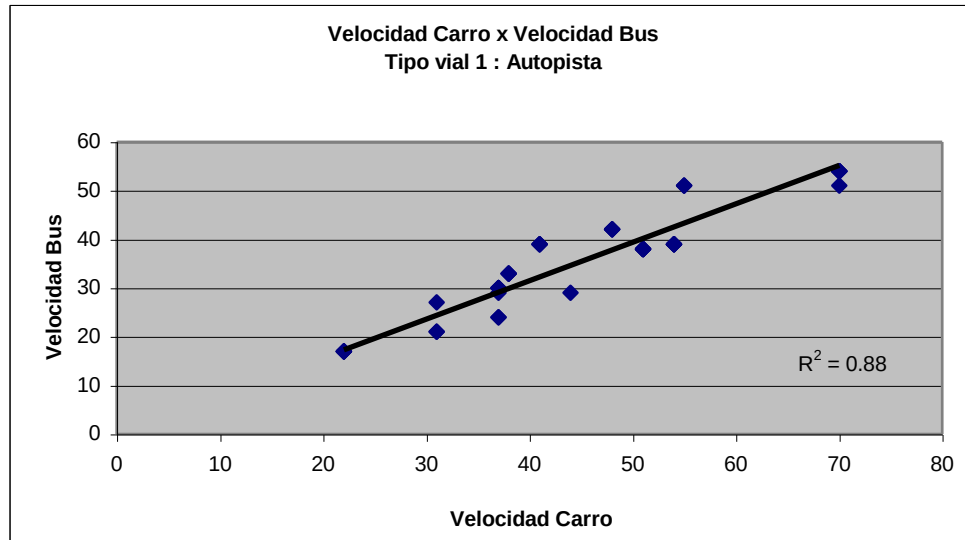
Los volúmenes de camiones en los dos periodos pico se concentran en la parte occidental, debido a la restricción aplicada a la circulación. Volúmenes marginales se encuentran en sectores de prohibición, los cuales pueden corresponder a tráfico de vehículos de carga pequeños, sin mucho impacto en la modelación.

Con las cargas de camiones y buses equivalentes utilizando una parte de la capacidad vial, se asigna la matriz de transporte privado en número de personas, convertida automáticamente en número de vehículos con un factor de ocupación de vehículos de 1,5 extraído de la encuesta de movilidad.

Los volúmenes de carros asignados determinan la velocidad por tramo en la red a través de las funciones volumen/demora. Funciones relacionando la velocidad de los carros con la de los buses son utilizadas para que los buses circulen a velocidades por tramo relacionadas con la congestión del sistema vial. Una función es definida para cada tipo de vía, a saber autopistas, expresas y arterias.

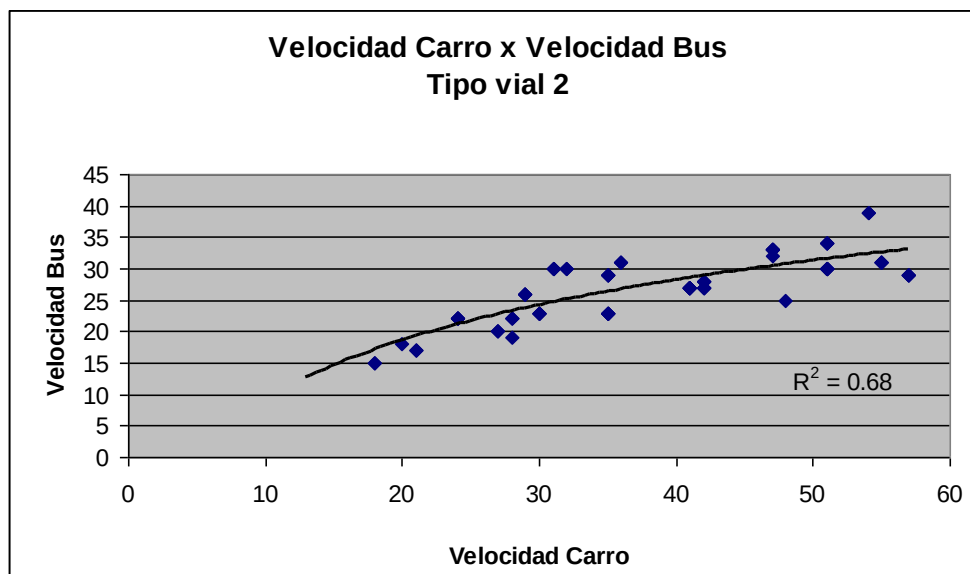
Las figuras siguientes muestran la relación entre las velocidades observadas del automóvil y del bus para cada tipo de vía, y las funciones definidas en el modelo. Para el tipo vía 5 correspondiente a vía local se adopta la función 4.

Figura 6 Relación de Velocidad del Automóvil y el Bus –Vía 1 Autopista



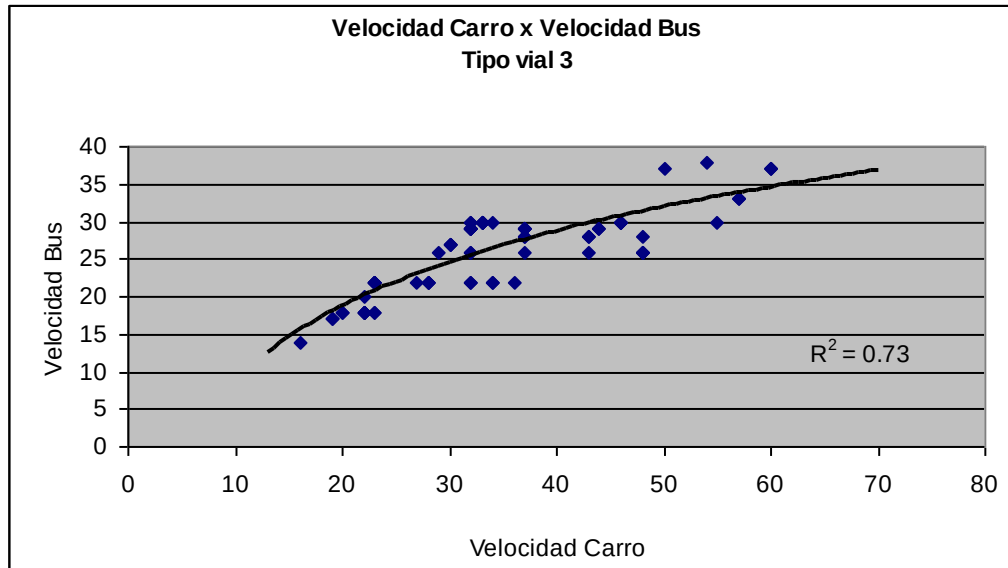
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7 Relación de Velocidad del Automóvil y el Bus –Vía 2



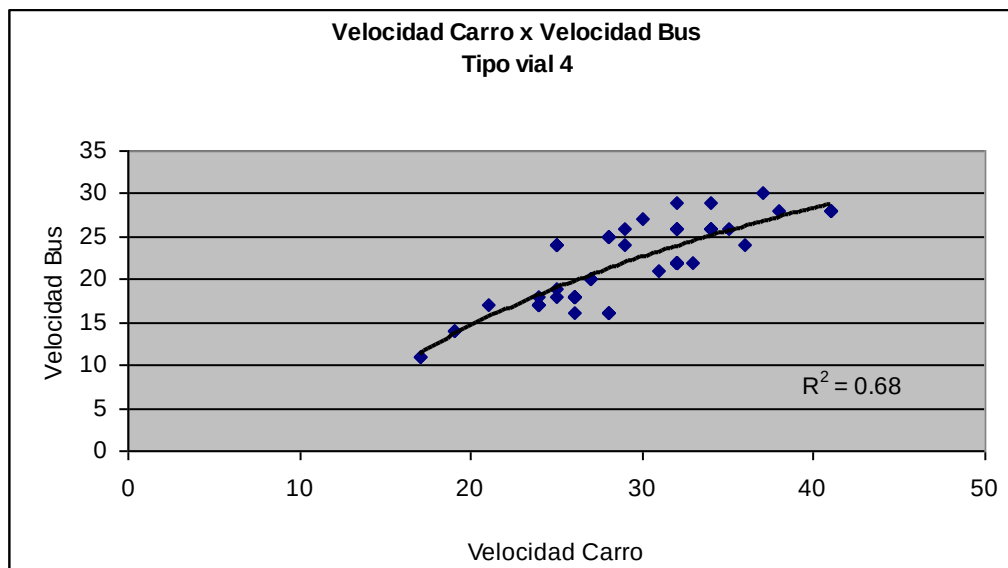
Fuente: Elaboración Propia

Figura 8 Relación de Velocidad del Automóvil y el Bus –Vía 3



Fuente: Elaboración Propia

Figura 9 Relación de Velocidad del Automóvil y el Bus –Vía 4



Fuente: Elaboración Propia

Las ecuaciones básicas de las funciones son presentadas a continuación:

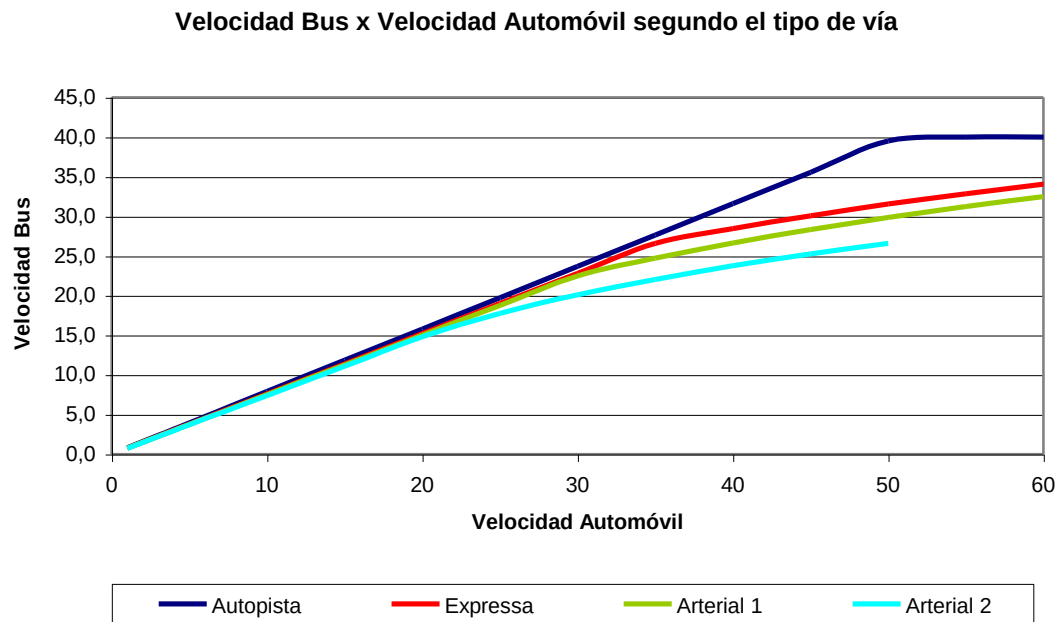
BM_58 STT
**VALIDACIÓN DE LAS MATRICES RESULTANTES DE LA ENCUESTA
DE MOVILIDAD MEDIANTE LA MODELACIÓN DE TRANSPORTE**

$$\begin{aligned}
 V_a &\leq x & V_b &= A \cdot V_a \\
 V_a &> x & V_b &= B \cdot \ln(V_a) - C
 \end{aligned}$$

Donde:

X= Punto de inflexión
 V_a= Velocidad Automóvil
 V_b= Velocidad Bus
 A, B, C= Constantes a calibrar

Figura 10 Relación de Velocidad del Automóvil y el Bus por tipo de vía



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3 Funciones Básicas de relaciones de velocidad

Número de la función	Código da vía	Tipo de vía	Valor de x (Km./h)	Valor de A	Valor de B	Valor de C
ft 21	1	Autopista	-	0.79	-	-
ft 22	2	Expresa	35	0.76	13.8745	22.7287
ft 23	3	Arterial 1	30	0.75	14.431	26.5827
ft 24	4	Arterial 2	21	0.74	12.746	23.2655

Fuente: Elaboración Propia

La función 21 esta limitada a un máximo de 40 Km./h para los buses.

Las funciones están incluidas directamente en el modelo para que la velocidad de los buses en los tramos de vías sea calculada automáticamente, y permitir la asignación del transporte público.

2.2 ACTUALIZACIÓN DE LA RED

La red de modelación utilizada es la red desarrollada en los años 2002 y 2003 en los proyectos desarrollados por la STT. Las modificaciones aportadas conciernen básicamente a la actualización de los servicios de Transmilenio, y la desagregación zonal del sector de Soacha.

La representación preexistente de los servicios de Transmilenio no representaba de manera adecuada la situación actual. Los servicios correspondían a la situación anterior a la operación de la troncal Av. Américas-Cll 13. La actualización efectuada incorporó los servicios reales, con sus características operacionales, frecuencias por período horario, velocidades observadas por tramos y extensión.

La ciudad de Soacha estaba representada en el modelo únicamente por la zona 624. Esta zona fue desagregada en 6 zonas, correspondiente a las 6 comunas.

Tabla 4 Desagregación Zonas Soacha

ID_EMME2	SECTOR	UPZ	LOCALIDAD
624	754	216	SOACHA COMUNA1
652	754	217	SOACHA COMUNA2
653	754	218	SOACHA COMUNA3
654	754	219	SOACHA COMUNA4
655	754	220	SOACHA COMUNA5
656	754	221	SOACHA COMUNA6

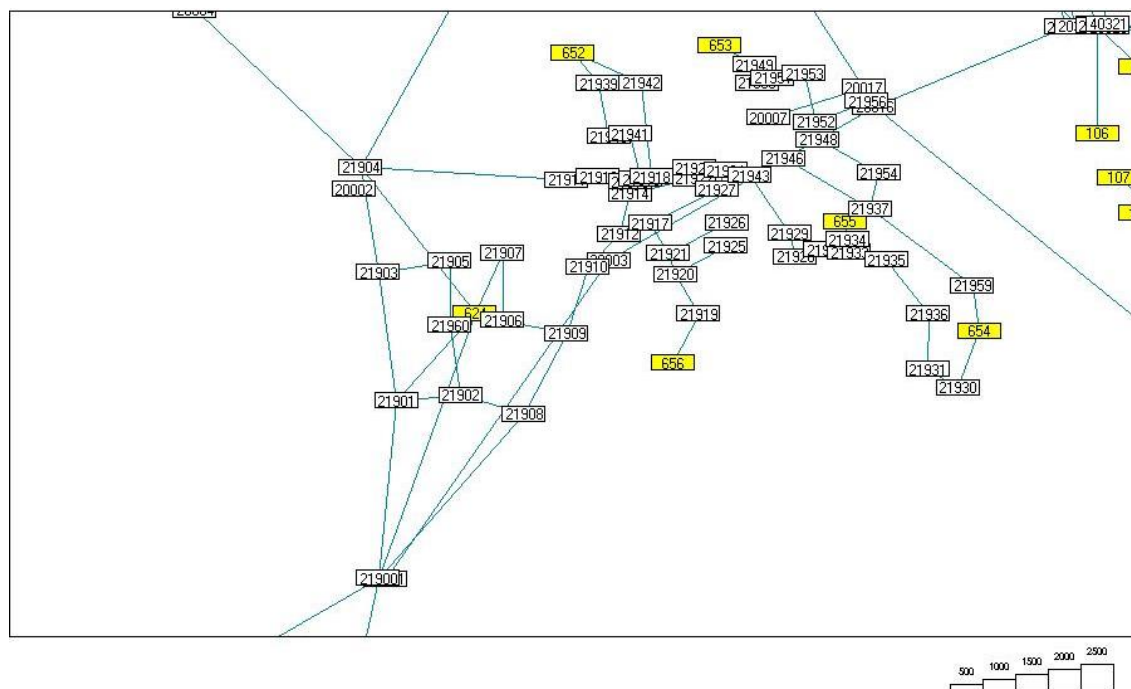
Fuente: Elaboración Propia a partir de Información DANE

El modelo se compone con esta actualización de 641 zonas de tráfico.

La desagregación zonal implica en rediseñar la red, y las rutas de transporte colectivo.

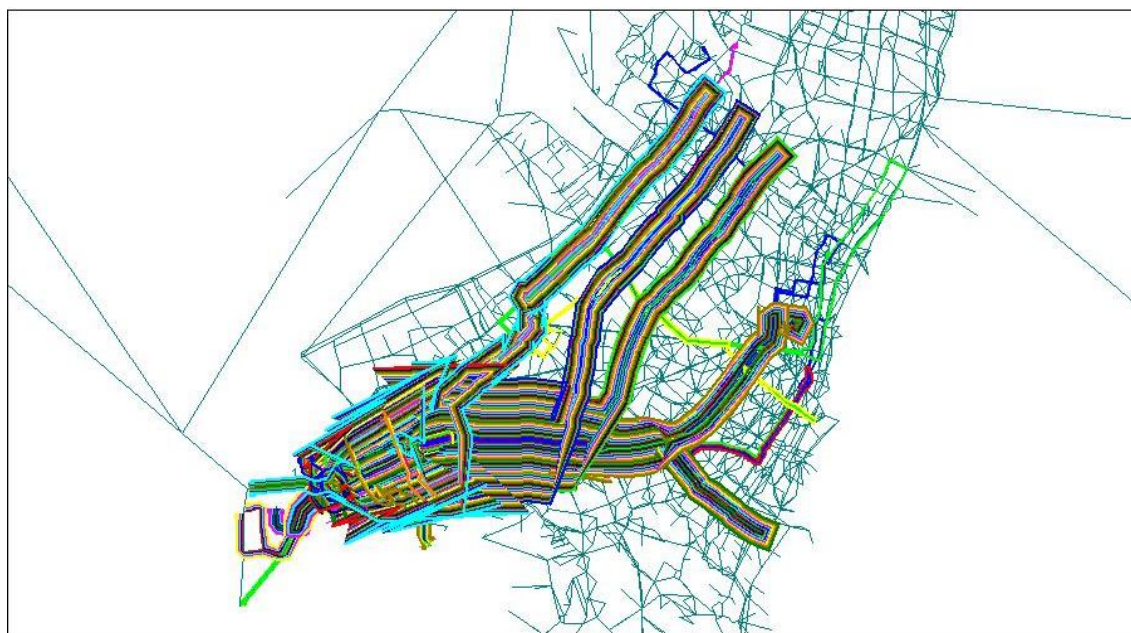
BM 58 STT
**VALIDACIÓN DE LAS MATRICES RESULTANTES DE LA ENCUESTA
DE MOVILIDAD MEDIANTE LA MODELACIÓN DE TRANSPORTE**

Figura 11 Red física



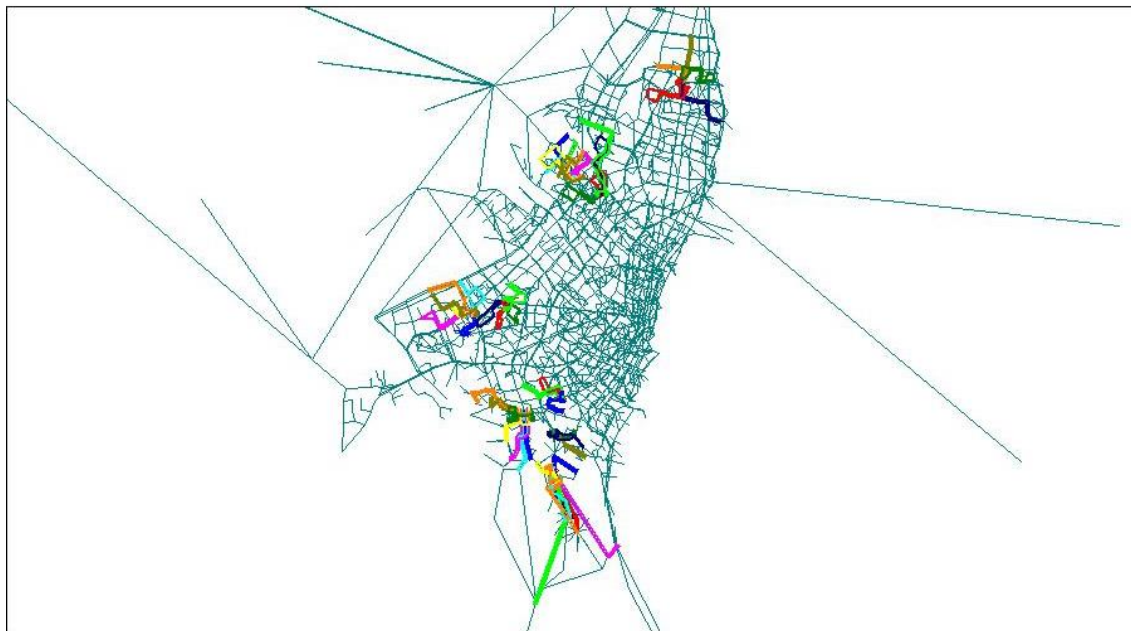
Fuente: Elaboración Propia

Figura 12 Rutas de Transporte Público



Fuente: Elaboración Propia a partir de información suministrada por la STT.

Figura 13 Actualización de la rutas alimentadoras de Transmilenio



Fuente: Elaboración Propia a partir de información suministrada por Transmilenio S.A.

3. CONSOLIDACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE LA ENCUESTA DOMICILIARIA

La base de datos de la encuesta de movilidad está conformada por ocho archivos, cuatro para Bogotá, y los cuatros equivalentes para los demás municipios. Las cuatro partes correspondan al formato de la encuesta:

Módulo A: Identificación y control de la entrevista

Módulo B: Vehículos de transporte disponibles en el hogar

Módulo C: Características de los miembros del hogar

Módulo D: Desplazamientos realizados por las personas del hogar

3.1 PROCESAMIENTO DEL ARCHIVO DE UNIÓN

El archivo unión es un archivo que contiene la información de los domicilios, personas y viajes en un único archivo. Cada fila contiene las informaciones de un viaje, de la persona que realizó el viaje y del domicilio donde vive la persona. Estas informaciones están repetidas para todos los viajes que realice una persona.

Este archivo es obtenido con la unión de los módulos A, B, C, D Bogotá y municipios. Si falta la información para relacionar los viajes en uno de los módulos, el viaje no aparece en el archivo unión.

La unión de la información es necesaria para juntar las características socio-económicas de las personas con los viajes realizados por ellas. El archivo de unión final suma 90326 registros.

Para este archivo fueron copiadas las siguientes variables de los módulos A, B, C, D:

NR_FOR, FEXFINAL, FEXPROY, AI1_DPTO, AI2_MPIO, AI3_SECT, AI4_SECC, ID_EMME2, AI5_MANZ, AI6_UPZ, AI7_ESTR, AI9_THOG, AI10_NHOG, AI11_NPEH, AI12_NP5A, B1_ABICI, B1_BCU, B2_TVEH, B3_TIPO, B4_PROP,

B5_MATR, B6_ESTA, C7_PERS, C8_EDAD, C9_SEXO, C10_MOVE, C10_OIR, C10_VER, C10_HABL, C10_OTRA, C10_NING, C11_BUS, C11_TAXI, C11_TRAN, C11_NING, C12_EDU, C13_ACT1, C14_EST1, C15_TRA1, C16_ECO1, C18_SECT1, C18_AUPZ1, C18_EMME, C19_ACT2, C20_EST2, C21_TRA2, C22_ECO2, C24_SECT2, C24_AUPZ2, C24_EMME, C25_SAP, C26_DOMI, C99_NFPER, D7_NPER, D27_NVIA, D29_SECT3, D29_AUPZ3, D29_EMME, D30_HORAS, D32_SEC4, D32_AUPZ4, D32_EMME, D33_HORAL, D34_MOTI, D35_MEDIO, D36_MINCAM, D37_MINABO, D38_NOAUT, D39_BARTI, D40_NPV, D41_ESTA, D42_PAGA.

La variable C99_NFPER fue creada para permitir la unión de las personas con los viajes. Ella almacena el valor $NR_FOR * 100 + C7_PERS$.

Con base en este archivo fue creado un nuevo archivo eliminando el motivo de viaje 7, motivo trasbordo en el modulo D original, para identificar el viaje completo de la persona, e introduciendo otras variables para facilitar la extracción de la matrices de viajes.

Para la eliminación del motivo 7 se adoptó el siguiente criterio:

- Si se encuentra un viaje, para una misma persona, con motivo igual a 7, se toma el primer viaje, de la misma persona con motivo diferente de 7;
- Los valores de hora de llegada, motivo, zona de destino de esta viaje fueron atribuidos al primer viaje con motivo 7 encontrado;
- Los tiempos de espera y caminata fueron separados;

Los datos originales del viaje fueron preservados en el archivo final.

El archivo final contiene las variables listadas abajo. Fueron mantenidos los nombres de las variables de los MODULO A, MODULO D, MODULO C, MODULO D.

NR_FOR, FEXFINAL, FEXPROY, AI1_DPTO, AI2_MPIO, AI3_SECT, AI4_SECC, ID_EMME2, AI5_MANZ, AI6_UPZ, AI7_ESTR, AI9_THOG, AI10_NHOG, AI11_NPEH, AI12_NP5A, B1_ABICI, B1_BCU, B2_TVEH, B3_TIPO, B4_PROP, B5_MATR, B6_ESTA, C7_PERS, C8_EDAD, C9_SEXO, C10_MOVE, C10_OIR, C10_VER, C10_HABL, C10_OTRA, C10_NING, C11_BUS, C11_TAXI, C11_TRAN, C11_NING, C12_EDU, C13_ACT1, C14_EST1, C15_TRA1, C16_ECO1, C18_SECT1, C18_AUPZ1, C18_EMME, C19_ACT2, C20_EST2, C21_TRA2, C22_ECO2, C24_SECT2, C24_AUPZ2, C24_EMME, C25_SAP, C26_DOMI, C99_NFPER, D7_NPER, D27_NVIA, D29_SECT3, D29_AUPZ3, D29_EMME, D30_HORAS, D32_SEC4, D32_AUPZ4, D32_EMME, D33_HORAL, D34_MOTI, D35_MEDIO, D36_MINCAM, D37_MINABO, D38_NOAUT, D39_BARTI, D40_NPV, D41_ESTA, D42_PAGA, D99_MOTORIG, D99_Med1, D99_E1, D99_Med2, D99_E2, D99_Med3, D99_E3, D99_Med4, D99_E4, D99_Med5, D99_E5, D99_HB, D99_MHB, MODO_PRIN, MODO_AGREG, TTOTVIA, TOTESP, TOTCAMIN,

MEDIO1, TVEIC1, TESP1, CAMIN1, MO1, MD1, MEDIO2, TVEIC2, TESP2, CAMIN2, MO2, MD2, MEDIO3, TVEIC3, TESP3, CAMIN3, MO3, MD3, MEDIO4, TVEIC4, TESP4, CAMIN4, MO4, MD4, MEDIO5, TVEIC5, TESP5, CAMIN5, MO5, MD5, MEDIO6, TVEIC6, TESP6, CAMIN6, MO6, MD6, ForPerVia

Fueron creadas las siguientes variables:

C99_NFPER, que almacena el valor $NR_FOR * 100 + C7_PERS$;

D99_MOTORIG, contiene el motivo de origen del viaje. Para el primer viaje fue atribuido un valor dependiente de la zona de origen, residencia, trabajo, estudio, u otros. Para los demás viajes, el motivo de origen es igual al motivo de destino del viaje anterior.

Los medios 1 a 6 contienen la sucesión de los modos de transporte utilizados cuando existe un trasbordo.

TVEIC1 a TVEIC6 el tiempo de viaje en vehículo para cada modo utilizado

TESP1 a TESP6 contiene los valores de tiempo de espera para cada modo

CAMIN1 a CAMIN6, el tiempo de caminata

MO1 a MO6, el motivo del origen

MD1 a MD6, el motivo al destino

D99_HB, contiene el motivo de origen del viaje cuando es base domiciliar, caso contrario valor 0

D99_NHB, contiene el motivo de origen del viaje cuando no es base domiciliar, caso contrario valor 0

MODO_PRIN contiene el modo principal del viaje: Si uno de los modos utilizados en el viaje es 7, el valor es igual a 7, caso contrario, si uno de los modos utilizados en el viaje es 8, el valor es 8, estableciéndose la siguiente jerarquía: 7, 8, 9, 10, 11, 13, 4, 5, 6, 13, 14, 3, 2, 15, 1, 16

MODO_AGREG contiene los valores: 1 cuando el modo del viaje es: 1, 2, 3, 12, 13, 14, 15, 16; 2 cuando el modo del viaje es mayor que 6 o menor que 12, pero si hay transbordo, los otros modos utilizados no pueden ser mayor que 3 y menor que 8; 3 cuando el modo del viaje es mayor que 3 o menor que 8, pero si hay transbordo, los otros modos utilizados no pueden ser mayor que 6 y menor que 12; 4 cuando hay un transbordo entre modo público y

TTOTVIA, contiene el tiempo total de viaje.

TOTESP, contiene el tiempo total de espera para los viajes que fueron ligados para eliminar el motivo transbordo, o el tiempo de espera para los viajes sin transbordo.

TOTCAMIN, contiene el tiempo total de caminata.

ForPerVia, contiene la concatenación del número de formulario, número de la persona, y número del viaje

El número total de registros del nuevo archivo es de 84378 registros, contra 90649 para el Módulo D.

4. PRINCIPALES RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran los principales resultados obtenidos del análisis de la encuesta domiciliaria de movilidad, así como los indicadores globales de movilidad y sus tendencias.

4.1 DISTRIBUCIÓN DE LOS VIAJES POR MEDIO DE TRANSPORTE

4.1.1 Distribución por medio detallado

Los medios de transporte detallados de acuerdo con el formulario de la encuesta de movilidad se clasifican en 16 categorías. La distribución de la cantidad de viajes en cada uno de los 16 tipos de medios de transporte se observa en la Tabla 5

Tabla 5 Distribución de los viajes por medio detallado de transporte

MEDIO DE TRANSPORTE UTILIZADO EN EL VIAJE	DESCRIPCIÓN	NÚMERO DE VIAJES	%
1	A PIE	1.511.005	15,85%
2	BICICLETA	281.424	2,95%
3	MOTO	73.619	0,77%
4	VEHÍCULO PRIVADO COMO CONDUCTOR	900.700	9,45%
5	VEHÍCULO PRIVADO COMO PASAJERO	301.879	3,17%
6	TAXI	298.271	3,13%
7	TRANSMILENIO	821.463	8,62%
8	BUS ALIMENTADOR	256.646	2,69%
9	BUS	1.699.464	17,82%
10	BUSETA	1.972.122	20,68%
11	MICROBUS	658.178	6,90%
12	TRANSPORTE INTERMUNICIPAL	164.832	1,73%
13	BUS PRIVADO/DE COMPAÑÍA	139.634	1,46%
14	BUS ESCOLAR	432.664	4,54%
15	CAMIÓN	8.084	0,08%
16	OTRO	14.967	0,16%

Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

Los viajes se realizan principalmente en los medios de transporte público colectivo, bus y buseta.

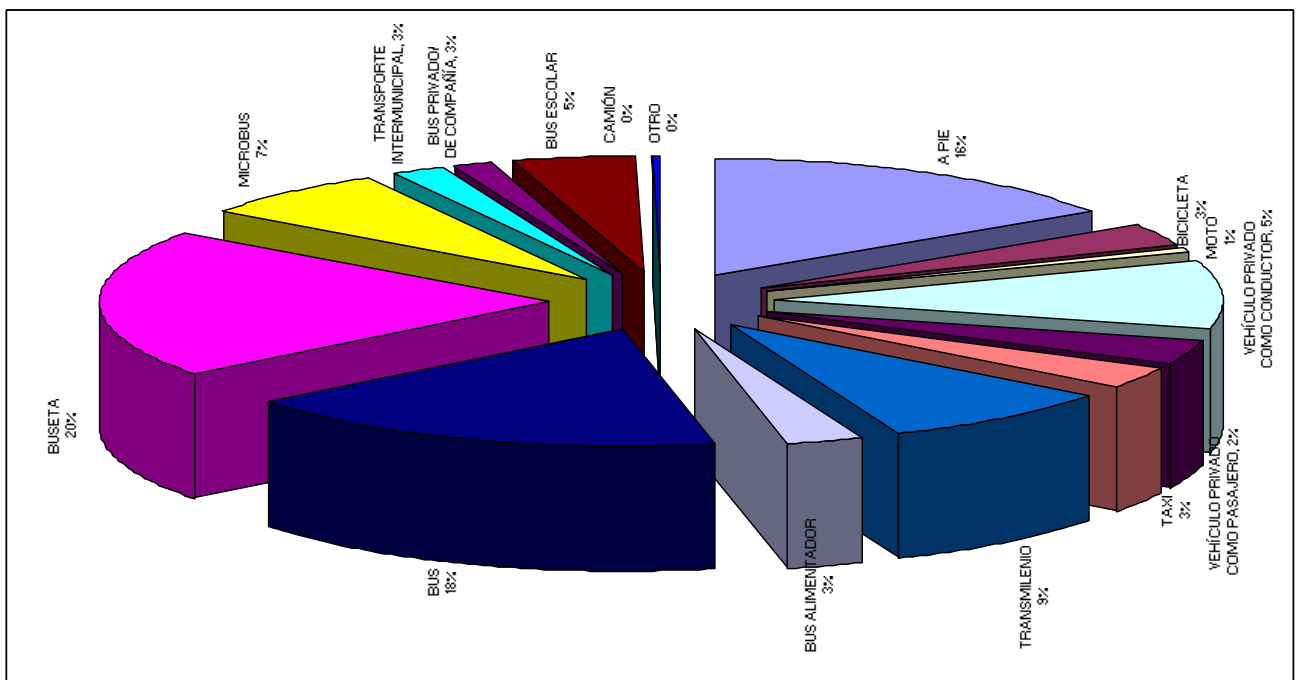
En el transporte masivo (Transmilenio y Bus alimentador) se desplaza el 11.31 % de los viajes.

En transporte Público colectivo, comprendido por Bus, Buseta y Microbús, se moviliza el 45.41% de los viajes.

En vehículo privado, ya sea como conductor o como pasajero, se moviliza el 12.61% de los viajes.

La distribución de viajes por medio de transporte se observa también en la gráfica de la Figura 14, donde se aprecia la proporción de los viajes de cada medio respecto del total.

Figura 14 Distribución de los viajes por medio detallado de transporte.



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

4.1.2 Distribución por medio agregado

Con el fin de analizar la distribución de los viajes de manera más resumida y general se recurre a la agregación de los viajes en cuatro categorías, de acuerdo con el medio de transporte utilizado, así:

- **RESTO:** los viajes realizados en medios no motorizados, moto, transporte intermunicipal, bus privado o de una compañía, bus escolar, camión y otros.
- **PÚBLICO:** Incluye transporte masivo (Transmilenio y bus alimentador) y transporte público colectivo (bus, buseta y microbús).
- **PRIVADO:** Se incluye los viajes en vehículo privado, tanto como conductor como pasajero, así como los viajes en taxi.
- **PÚBLICO Y PRIVADO:** Cuando el viaje se realiza utilizando tanto medios de transporte públicos como privados.

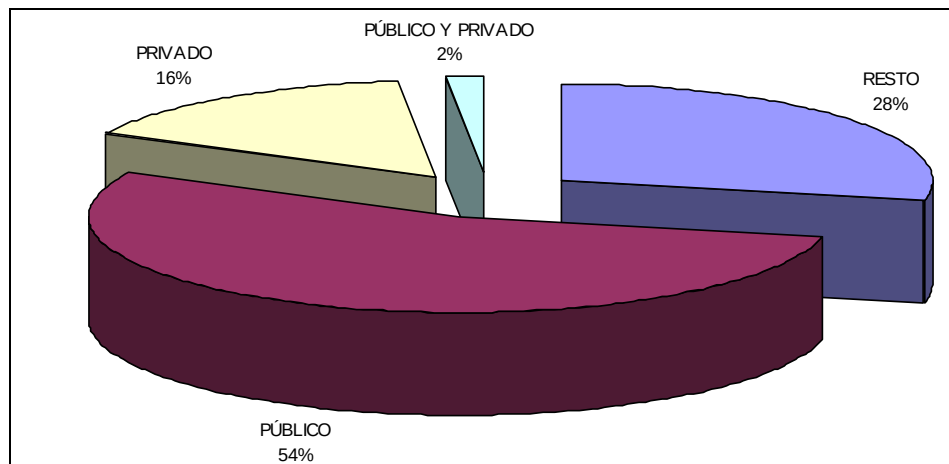
De acuerdo con esta clasificación se obtiene la distribución de viajes mostrada en el Tabla 6 y la Figura 15.

Tabla 6 Distribución de los viajes por modo agregado de transporte

MODO AGREGADO DE TRANSPORTE	DESCRIPCIÓN	TOTAL	%
1	RESTO	2.517.963	28,23%
2	PÚBLICO	4.847.149	54,34%
3	PRIVADO	1.402.833	15,73%
4	PÚBLICO Y PRIVADO	151.447	1,70%

Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

Figura 15 Distribución de los viajes por modo agregado de transporte



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

4.1.3 Repartición modal

En la repartición modal de los viajes se tiene en cuenta la proporción de los viajes realizados en los modos agregados 2 de Transporte Público y 3 de Transporte Privado.

Los viajes en modo agregado 4 (medios de transporte Público y Privado) se toman en cuenta tanto para el transporte público como para el privado.

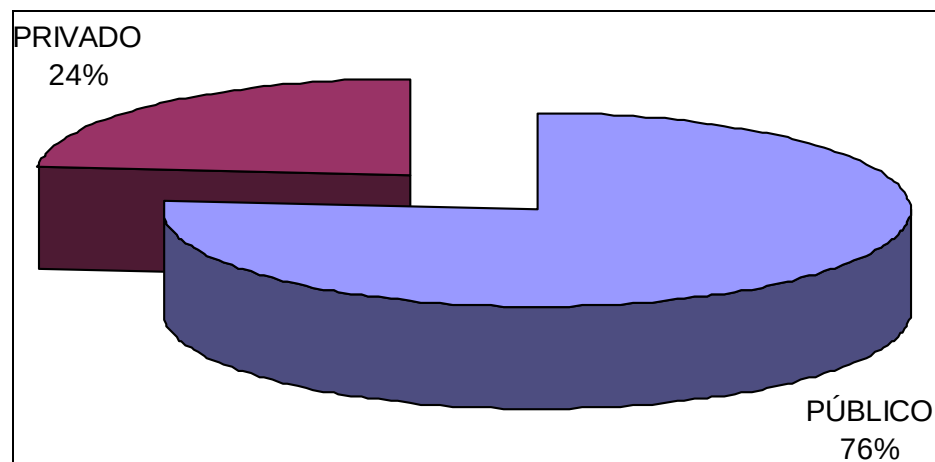
La distribución modal de los viajes se muestra en la Tabla 7 y la Figura 16 .

Tabla 7 Repartición modal de los viajes

DESCRIPCIÓN MODO DE TRANSPORTE	TOTAL	%
PÚBLICO	4.998.596	76,28%
PRIVADO	1.554.280	23,72%

Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

Figura 16 Repartición modal de los viajes



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

4.2 DISTRIBUCIÓN DE LOS VIAJES POR MOTIVO

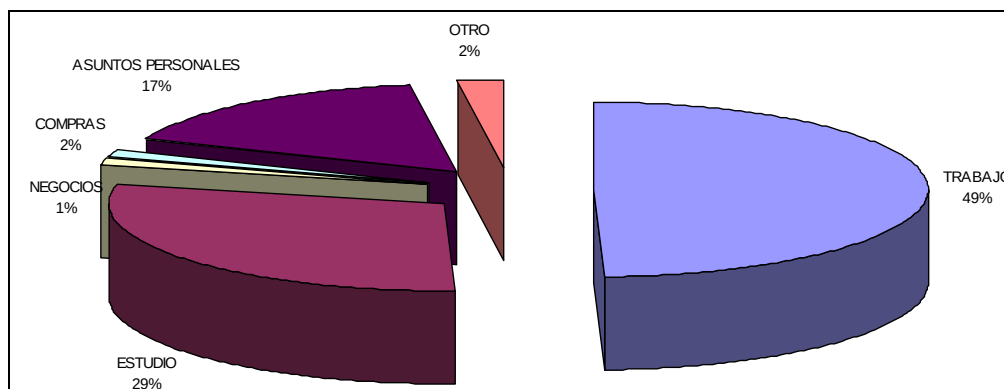
La distribución de los viajes por el motivo con que fueron realizados muestra los resultados que se presentan en Tabla 8 y la Figura 17.

Tabla 8 Distribución de viajes por motivo

MOTIVO DEL VIAJE	DESCRIPCIÓN	TOTAL	%
2	TRABAJO	4.350.819	49,13%
3	ESTUDIO	2.572.529	29,05%
4	NEGOCIOS	92.389	1,04%
5	COMPRAS	132.245	1,49%
6	ASUNTOS PERSONALES	1.476.835	16,68%
7	TRASBORDO	190.078	2,15%
8	OTRO	41.027	0,46%

Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

Figura 17 Distribución de viajes por motivo



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

Los resultados indican que el principal motivo de los viajes es el trabajo con 49.13% seguido de motivo Estudio con 29% y Asuntos personales con 17%. Los demás motivos de viajes son poco representativos.

4.3 DISTRIBUCIÓN DE VIAJES POR ESTRATO

La clasificación por estrato representa la distribución de los viajes de acuerdo con la condición socioeconómica de la población.

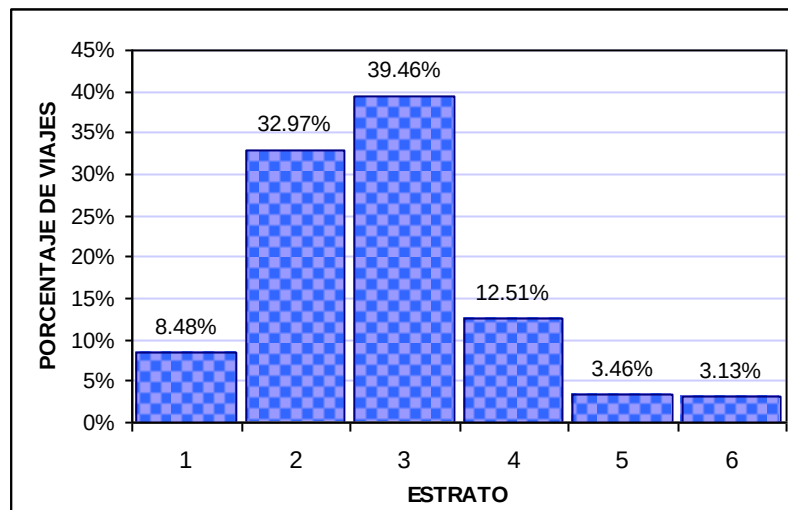
En la Tabla 9 y la Figura 18 se muestra la distribución de viajes por estrato.

Tabla 9 Distribución de viajes por estrato socioeconómico

ESTRATO	NÚMERO DE VIAJES	%
1	738,332	8.48%
2	2,871,199	32.97%
3	3,436,547	39.46%
4	1,089,610	12.51%
5	300,970	3.46%
6	272,697	3.13%
TOTALES	8,709,356	100.00%

Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

Figura 18 Distribución de viajes por estrato socioeconómico

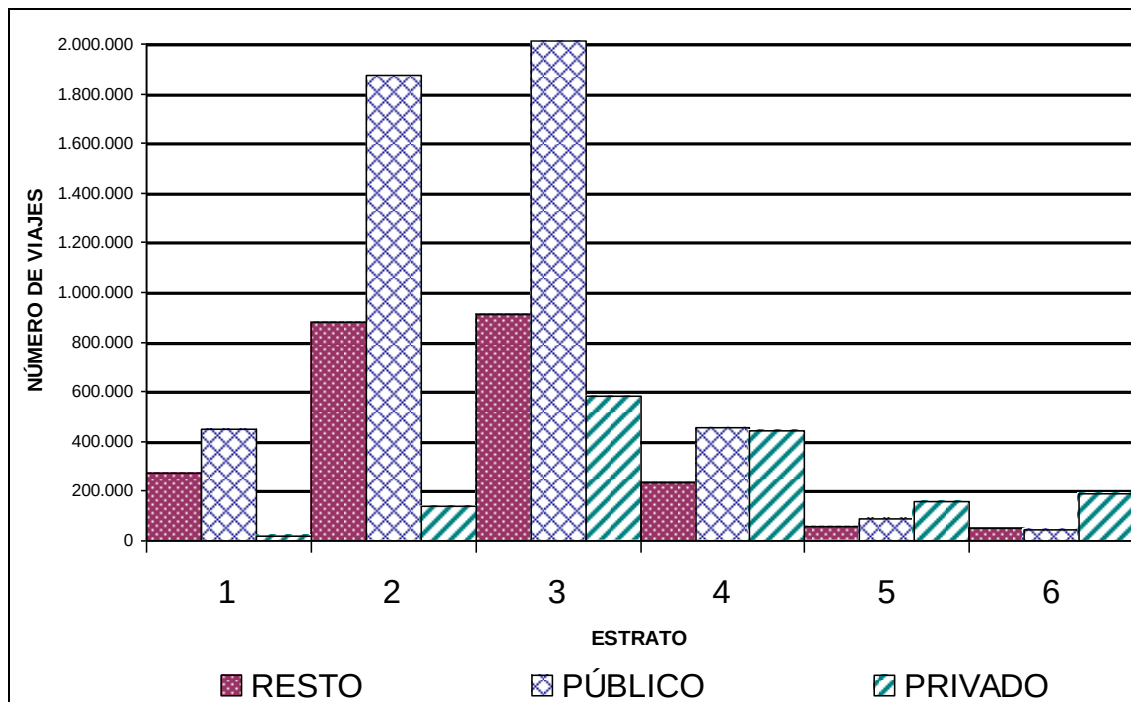


Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

Los datos indican que la mayoría de los viajes, aproximadamente el 71%, se realizan por personas de los estratos 2 y 3.

En la Figura 19 se muestra la distribución de viajes en cada estrato socioeconómico por modo agregado de transporte.

Figura 19 Distribución de viajes por estrato socioeconómico y por modo agregado



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

De la gráfica anterior se observa que en los estratos socioeconómicos bajos (1 y 2) la proporción de uso de medios de transporte privado es mínimo y prima el transporte público, también se presenta un buen porcentaje de viajes en el resto de medios de transporte, dentro del cual se clasifica el modo a pié.

Para el estrato medio (3) la proporción de viajes en transporte público es bastante alta, pero a diferencia de los estratos bajos se observa un buen porcentaje de viajes en transporte privado. Es significativo el número de viajes en el resto de medios de transporte, dentro del cual se encuentra el modo a pié.

Para el estrato medio alto (4) la proporción de viajes en los diferentes modos es relativamente equilibrada encontrándose una considerable proporción de los viajes en transporte privado.

En los estratos altos (5 y 6) la proporción de viajes en vehículo privado es mucho mayor con relación a los viajes en transporte público y el resto de medios de transporte.

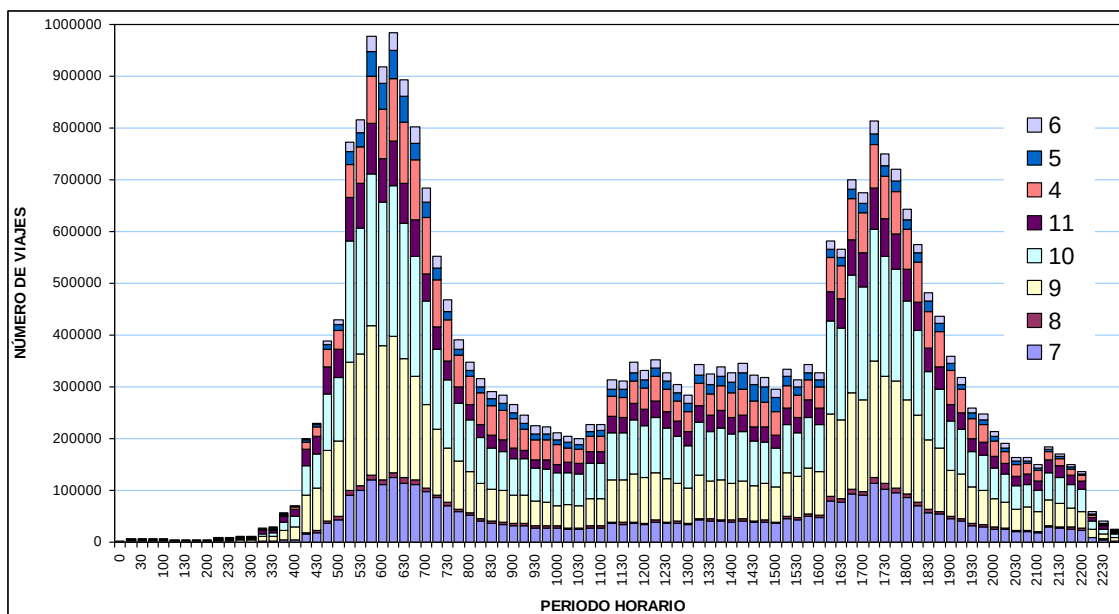
4.4 DISTRIBUCIÓN HORARIA DE VIAJES

En este numeral se analiza la distribución de los viajes en períodos de una hora para la población encuestada, clasificados por medio de transporte y por motivo del viaje.

4.4.1 Distribución horaria de viajes por medio de transporte

En la Figura 20 se muestra la distribución, por medio de transporte público y privado, de los viajes totales durante las 24 horas del día calculado cada 15 minutos por períodos de una hora.

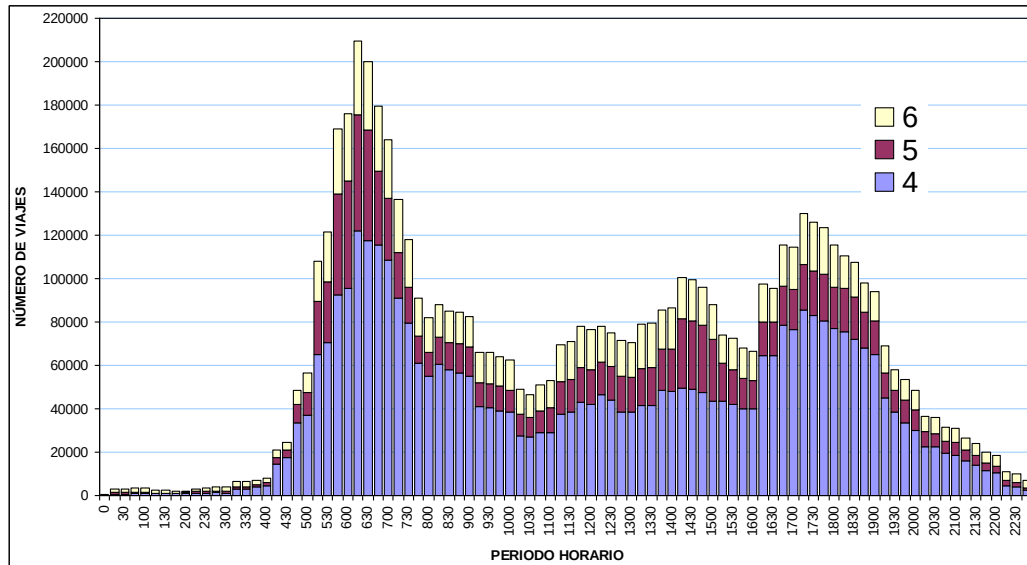
Figura 20 Distribución de viajes de la encuesta totales durante las 24 horas



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

En la Figura 21 se muestra la distribución, por medio de transporte privado (4, 5 y 6), durante las 24 horas del día calculado cada 15 minutos por períodos de una hora.

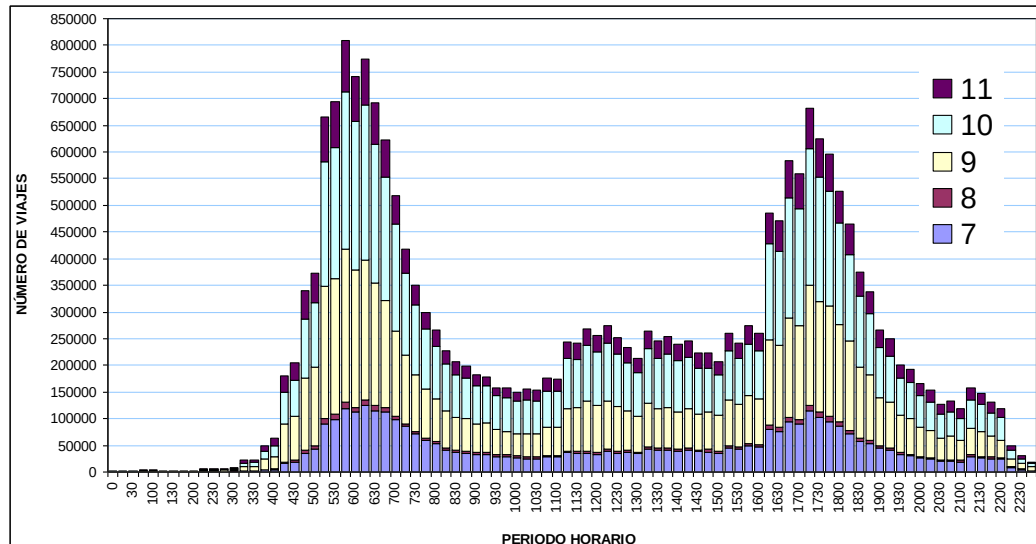
Figura 21 Distribución de viajes de la encuesta en modo privado durante las 24 horas



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

La distribución de viajes durante las 24 horas del día que utilizan los medios de transporte público (Transmilenio, alimentador, bus, buseta y microbús) se muestra en la Figura 22.

Figura 22 Distribución de viajes de la encuesta en transporte público durante las 24 horas



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

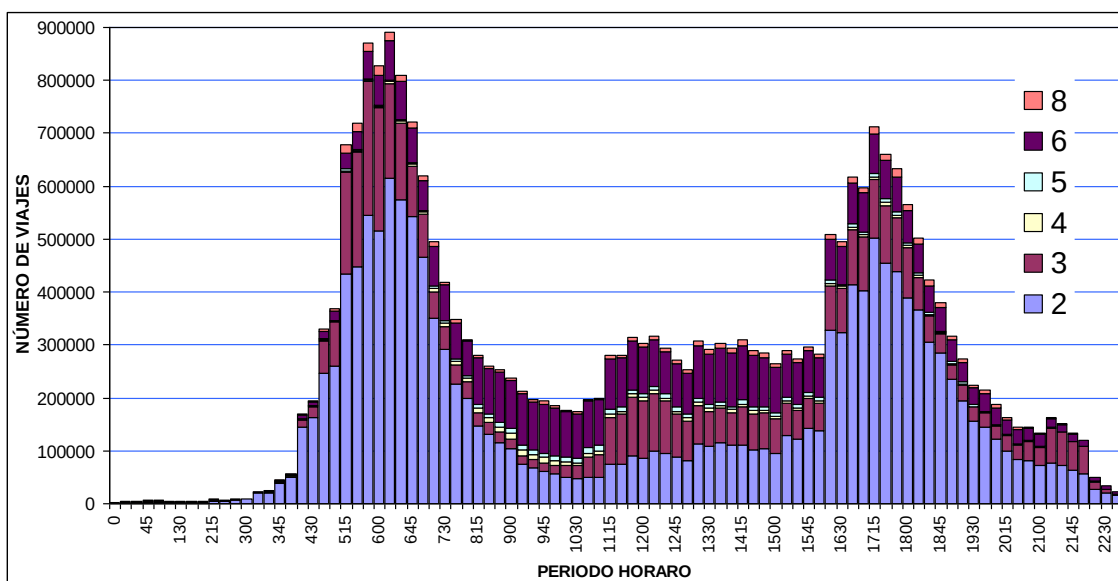
4.4.2 Distribución horaria de viajes por motivo

El motivo de viaje se clasifica en las siguientes categorías:

- 2 Trabajo
- 3 Estudio
- 4 Negocios
- 5 Compras
- 6 Asuntos personales
- 8 Otro

De acuerdo con la anterior clasificación de los viajes se distribuyen a lo largo del día como se observa en la Figura 23.

Figura 23 Distribución de viajes de la encuesta durante las 24 horas por motivo del viaje



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

4.5 ÍNDICES DE MOVILIDAD

Corresponde a la relación entre el número de viajes de la ciudad sobre el número de habitantes de la misma.

4.5.1 Índice de movilidad total

Corresponde a la relación entre el número de viajes totales de la ciudad sobre el número de habitantes de la misma.

El índice de movilidad total es de 1,22 viajes por habitante.

Tabla 10 Índice de Viajes por Habitante

Número total de viajes	8.919.392
Población	7.312.766
Viajes por habitante	1,22

Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

4.5.2 Índice de movilidad motorizada

Corresponde a la relación entre el número de viajes motorizados de la ciudad sobre el número de habitantes de la misma.

El índice de movilidad motorizada es de 0.99 viajes motorizados por habitante.

Tabla 11 Índice de Viajes Motorizados por Habitante

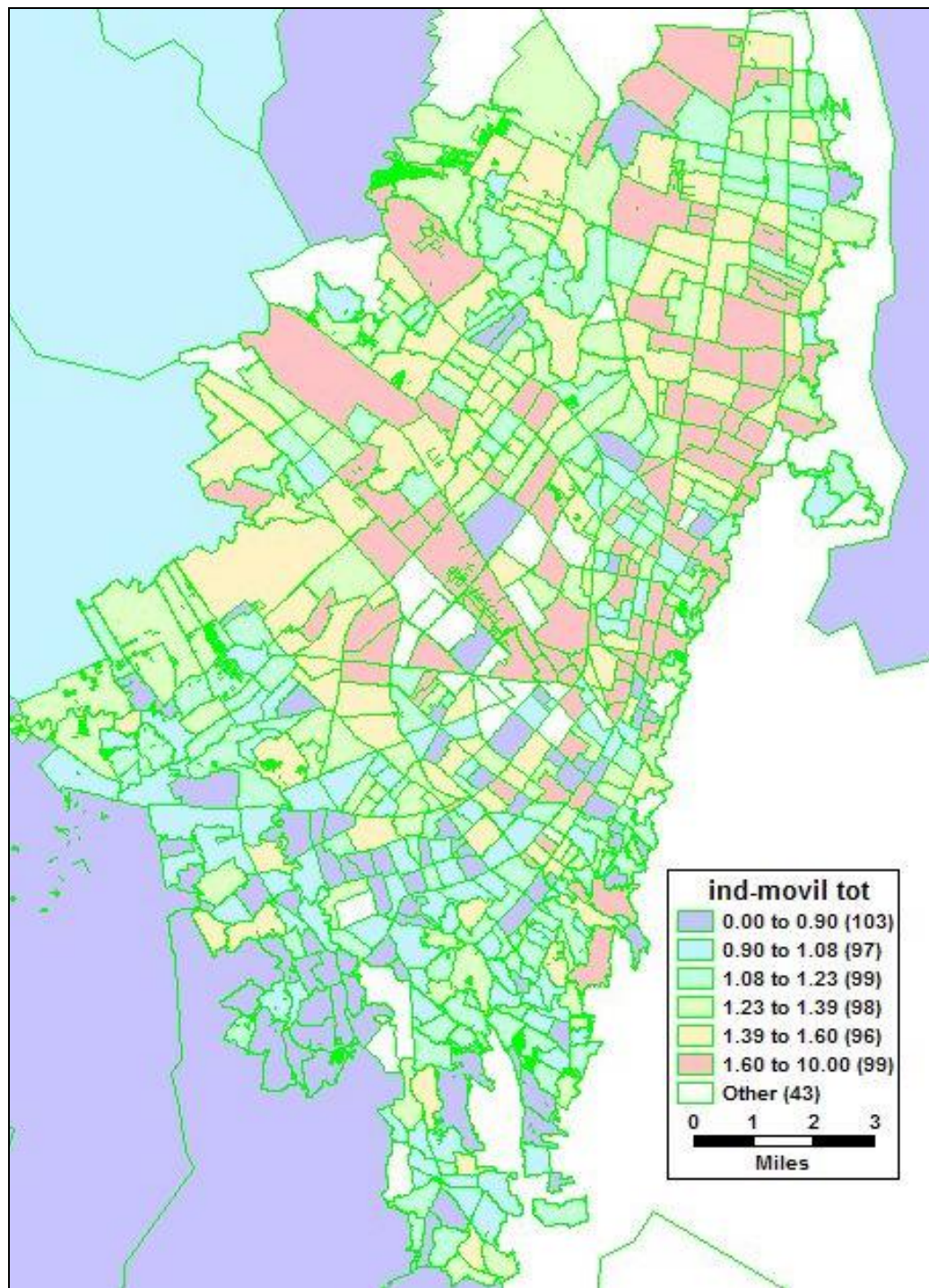
Número total de viajes motorizados	7214678
Población	7312766
Viajes motorizados por habitante	0,99

Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

4.5.3 Distribución geográfica del índice de movilidad

La distribución del índice de movilidad total en la ciudad se muestra en el mapa de la Figura 24.

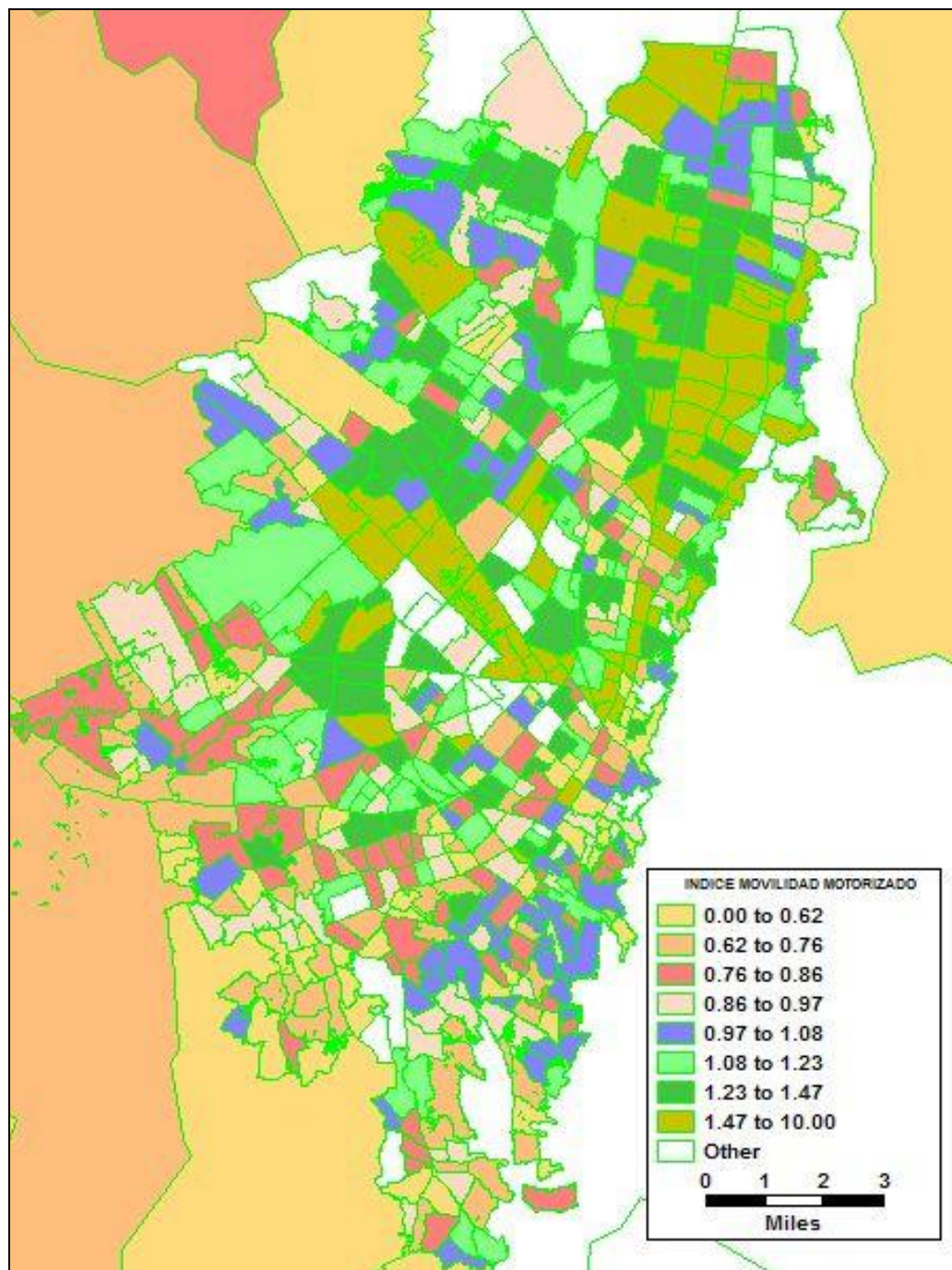
Figura 24 Índice de movilidad total por zonas de la ciudad



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

En el mapa se advierte que los índices de movilidad son ligeramente superiores en las zonas de mayores ingresos. La distribución del índice de movilidad motorizada en la ciudad se muestra en el mapa de la Figura 25.

Figura 25 Índice de movilidad motorizada por zonas de la ciudad

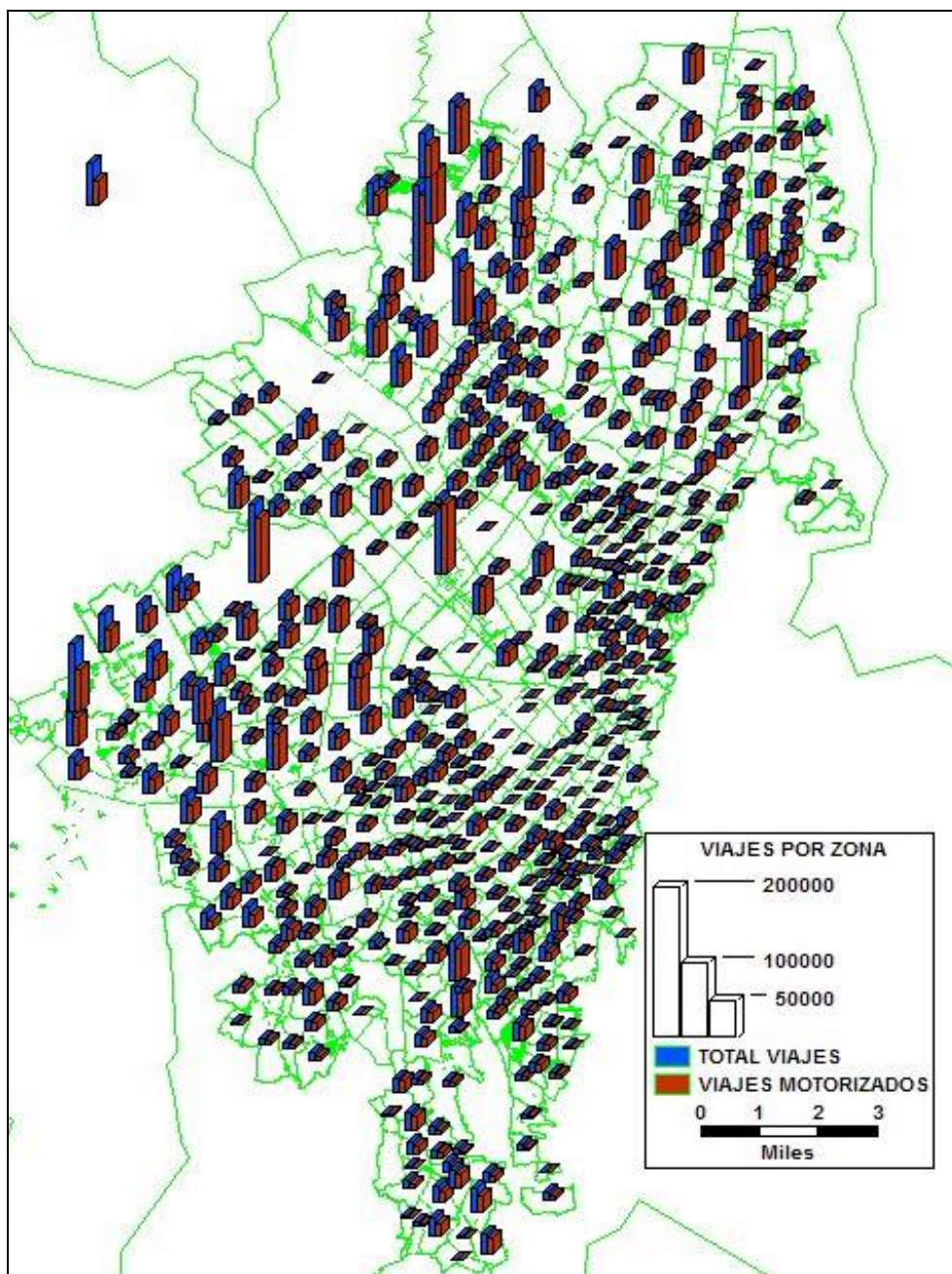


Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

En la Figura 26 se muestra la distribución por zonas de la ciudad de la generación de viajes tanto totales como motorizados.

En el mapa se observa que los viajes se localizan hacia la periferia donde el uso del suelo predominante es residencial.

Figura 26 Distribución de la generación de viajes por zonas de la ciudad.



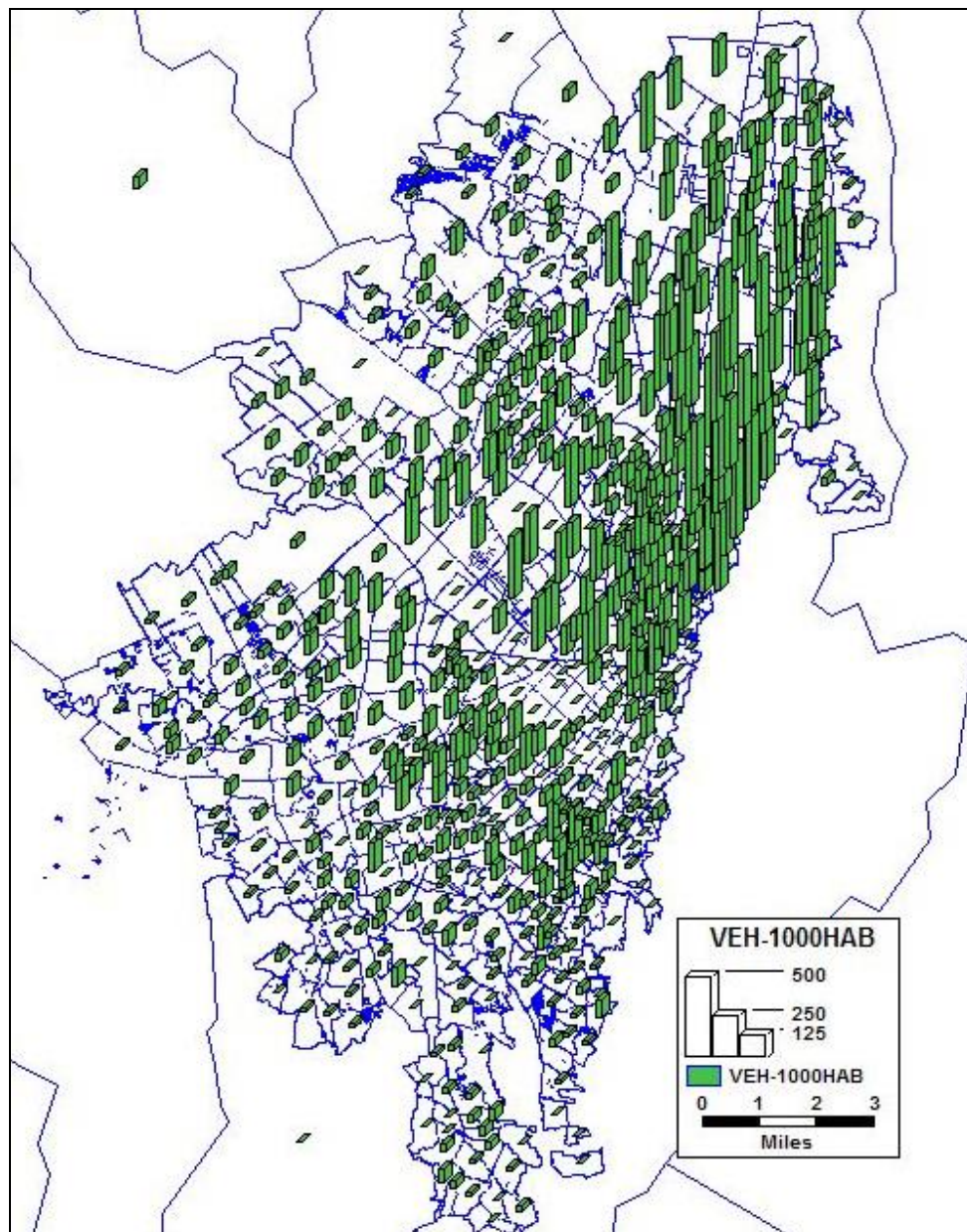
Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

4.6 TASA DE MOTORIZACIÓN

La tasa de motorización para el total de la población es de 89 vehículos por cada 1000 habitantes.

Para cada una de las zonas el índice de motorización es mostrado de manera gráfica en el mapa de la Figura 27.

Figura 27 Distribución de la tasa de motorización por zonas de la ciudad



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

La distribución de la tasa de motorización por zonas de la ciudad refleja el nivel de ingresos y el nivel socioeconómico.

4.7 ESTRATO PROMEDIO Y PROPIEDAD DE AUTO

La condición socioeconómica de la población se manifiesta por la distribución de la propiedad de vehículo.

La Tabla 12 indica la cantidad de vehículos por estrato socioeconómico y el porcentaje que representa para cada estrato frente al total de vehículos.

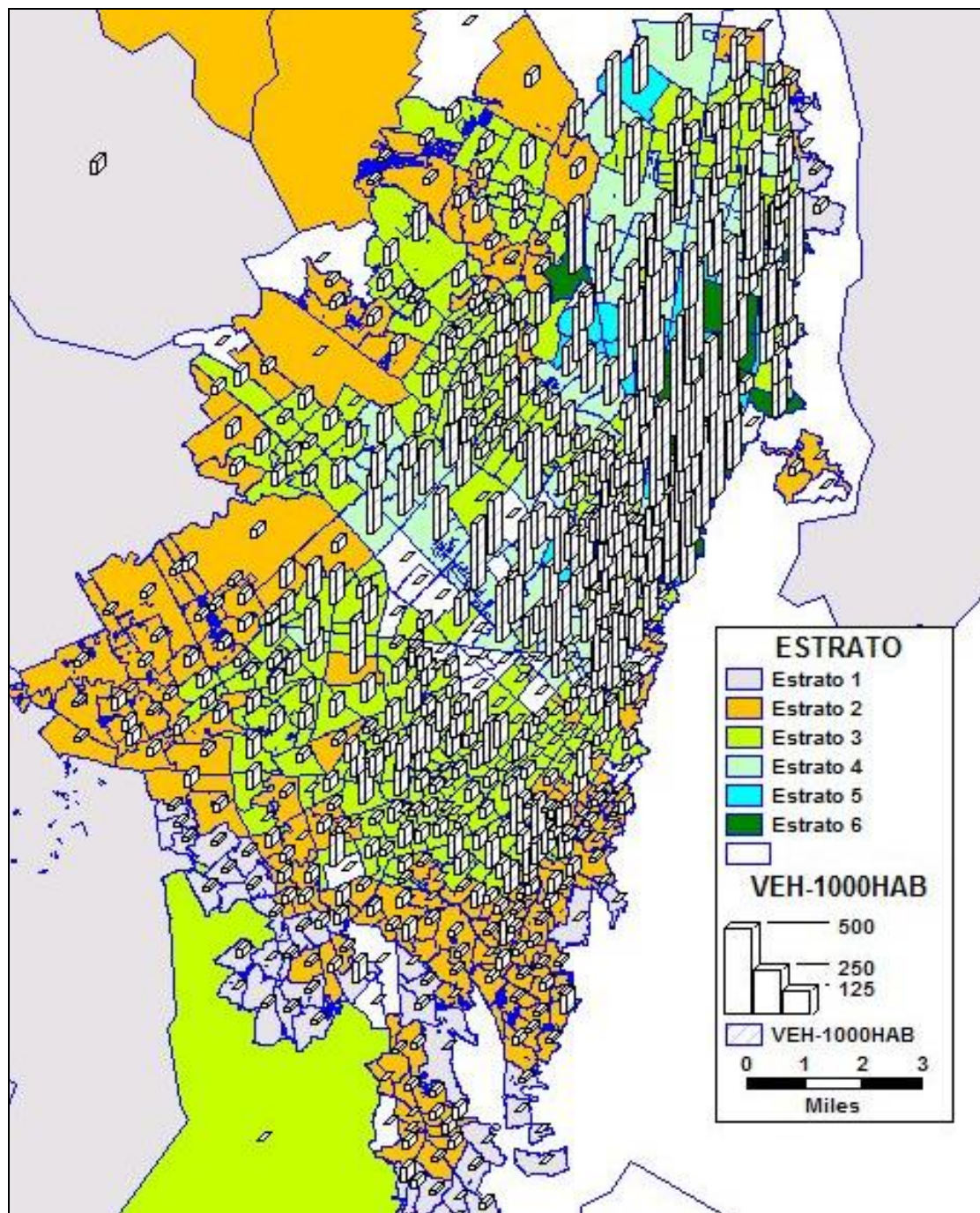
Tabla 12 Distribución de viajes por estrato socioeconómico.

ESTRATO	POBLACIÓN	VEHÍCULOS	VEH/1000 HAB
1	1.163.510	33.749	29
2	2.571.148	84.320	33
3	2.538.256	236.551	93
4	738.822	169.712	230
5	131.198	46.898	357
6	169.832	80.839	476
TOTAL	7.312.766	652.069	89

Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

En el mapa de la Figura 28 se observa de manera gráfica la proporción de vehículos por cada 1000 habitantes por zona de la ciudad de acuerdo con el estrato socioeconómico.

Figura 28 Distribución la cantidad de vehículos por cada 1000 vehículos por zonas de la ciudad, de acuerdo con estrato socioeconómico



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

4.8 DISTRIBUCIÓN DE LOS VIAJES POR TIEMPO DE VIAJE

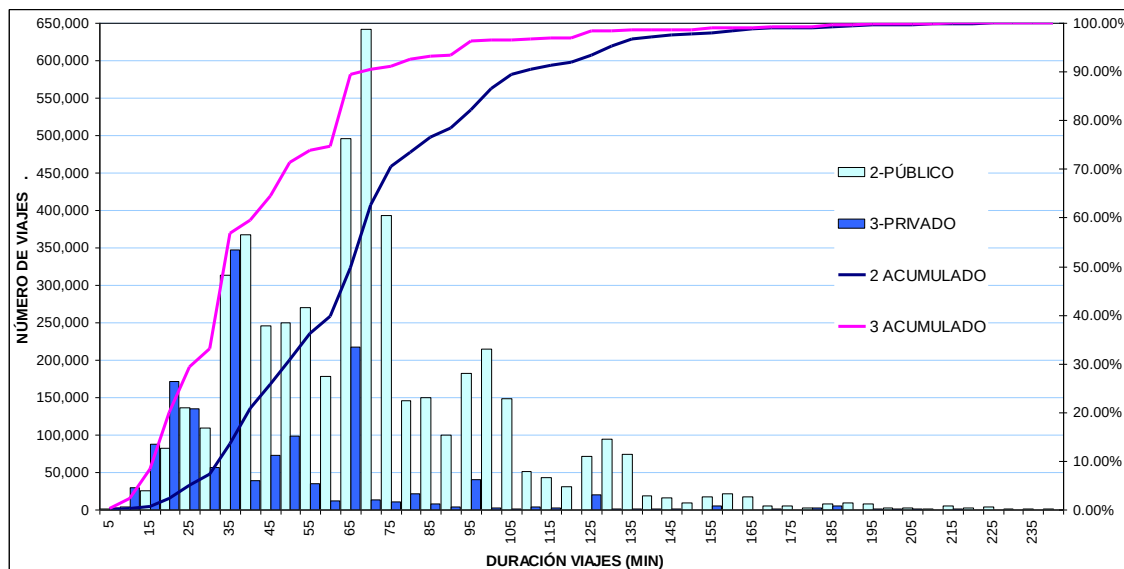
Para la determinación de la distribución de frecuencia de viajes por duración en tiempo se analizan periodos de cinco minutos.

El análisis se realiza para los viajes clasificados por medio de transporte agregado utilizado, público y privado y para el motivo de viaje.

4.8.1 Distribución de los viajes por tiempo de acuerdo con el medio utilizado

En la Figura 29 se indica el histograma de frecuencias de viajes por tiempo de duración, por intervalos de cinco minutos, acompañado por la frecuencia acumulada, de acuerdo con el medio de transporte agregado, público o privado.

Figura 29 Frecuencia de viajes por duración en periodos de cinco minutos, de acuerdo con el medio de transporte utilizado



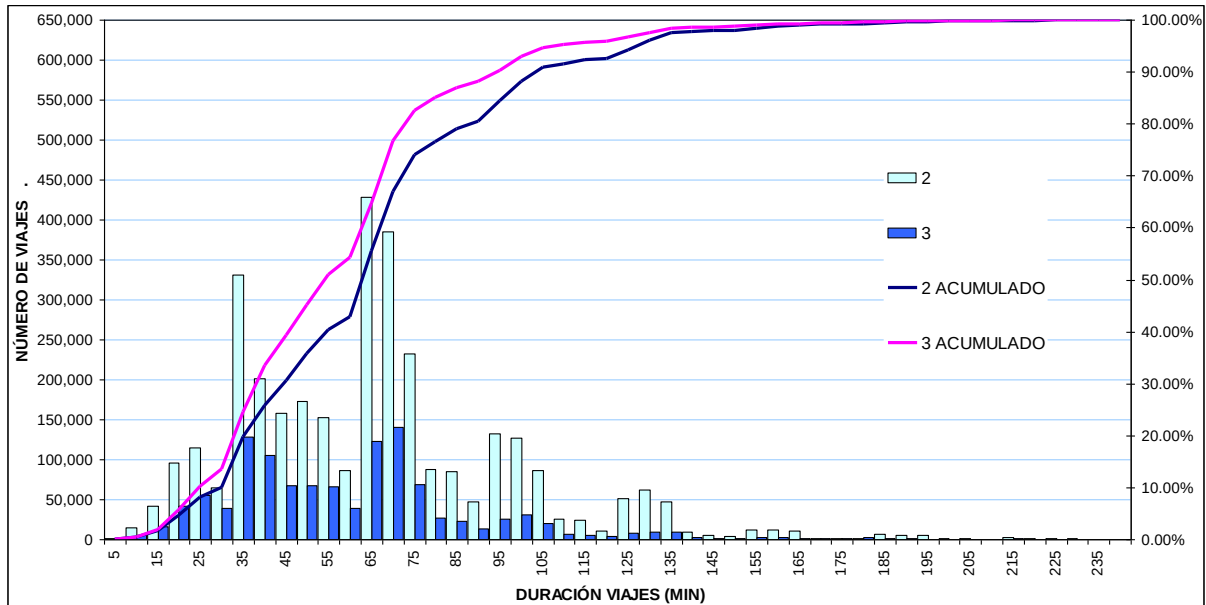
Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

El tiempo promedio de viaje por transporte público es de una hora, contra 40 minutos para el transporte privado.

4.8.2 Distribución de los viajes por tiempo de acuerdo con el motivo que genera el viaje

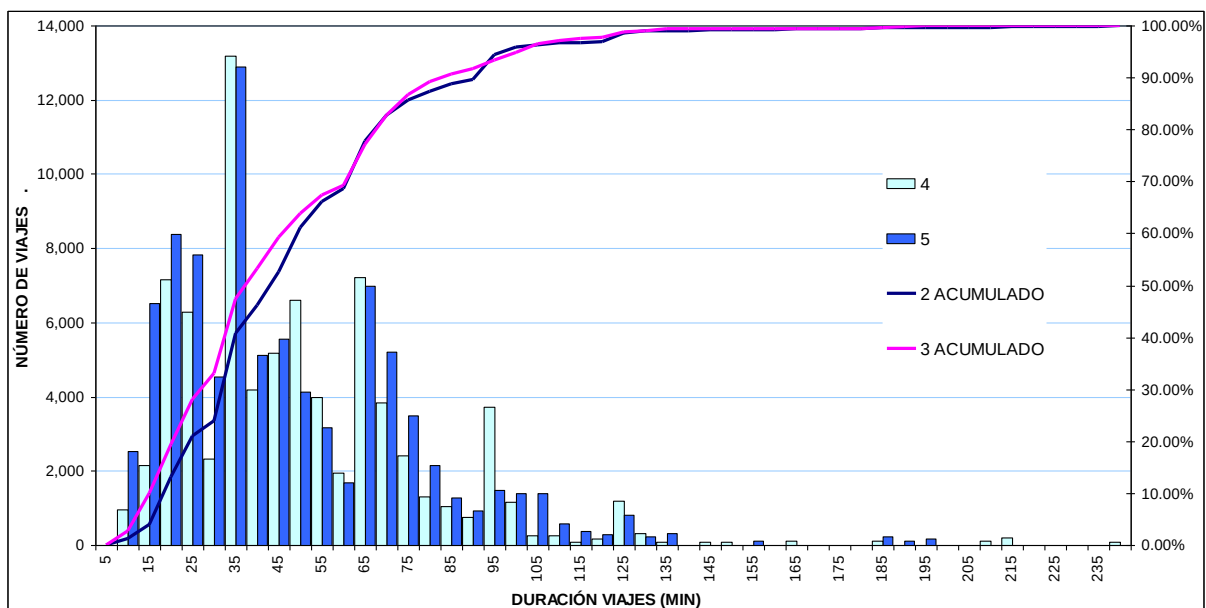
En las Figura 30, Figura 31 y Figura 32, se muestran los histogramas de frecuencias de tiempos de duración de viajes, en intervalos de cinco minutos, acompañado por la frecuencia acumulada, de acuerdo con el motivo de los viajes.

Figura 30 Frecuencia de viajes por duración en periodos de cinco minutos, de acuerdo con motivo de viaje 2 y 3



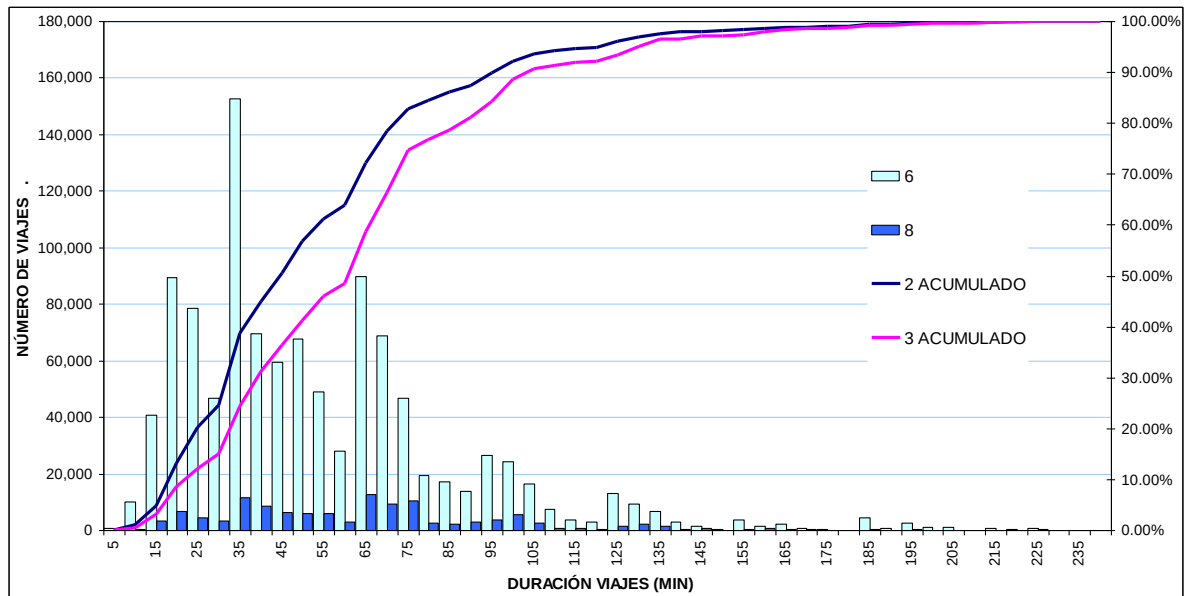
Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

Figura 31 Frecuencia de viajes por duración en periodos de cinco minutos, de acuerdo con motivo de viaje 4 y 5



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

Figura 32 Frecuencia de viajes por duración en periodos de cinco minutos, de acuerdo con motivo de viaje 6 y 8



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

4.9 TASAS DE TRASBORDO

Los transbordos entre los diferentes medios de transporte público se calculan para tres diferentes medios o combinaciones de medios de transporte.

4.9.1 Tasa de transbordo interna a TransMilenio

Corresponde a la relación entre el número de transbordos requeridos por viaje en servicios troncales de TransMilenio y el número de viajes totales en TransMilenio.

De acuerdo con los valores de la Tabla 13, la tasa de transbordo interna en el sistema TransMilenio es de 1.25 transbordos por viaje.

Tabla 13 Tasa de trasbordo interna a TransMilenio

Cantidad Traslados	No. Viajes	Traslados x Viajes
1	466.938	466937,52
2	133.870	267740,46
3	7.959	23877,63
TOTALES	608.767	758555,61
Promedio ponderado:		1,25

Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

4.9.2 Tasa de trasbordo de TransMilenio a alimentadoras

Para el cálculo de la tasa de trasbordo TransMilenio - alimentador se toma la relación entre el número de viajes que usan Transmilenio y luego hacen trasbordo a un alimentador o viceversa sobre el número total de viajes en los cuales se utiliza como medio de transporte TransMilenio.

De acuerdo con lo anterior se obtiene que el 28.47% de los viajes en TransMilenio hacen trasbordo a rutas alimentadoras. Los datos observados corresponden a aproximadamente 40%, lo que muestra una baja representatividad de los viajes alimentando Transmilenio en la encuesta.

Los valores para obtención de la tasa de trasbordo TransMilenio – alimentador se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14 Tasa de trasbordo Transmilenio alimentador

Total de viajes en TransMilenio	812,356
Viajes con trasbordo TransMilenio - alimentador	231,244
Tasa de trasbordo TransMilenio - alimentador	28.47%

Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

4.9.3 Tasa de trasbordo total público

La tasa de trasbordo en transporte público se toma como la relación entre el número de viajes que usan transporte público, tanto masivo como colectivo, y el número total de viajes realizados en transporte público.

De acuerdo con lo anterior se obtiene que el 9.74% de los viajes en transporte público requieren realizar trasbordo a otro medio de transporte público.

Los valores para obtención de la tasa de trasbordo en transporte público se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15 Tasa de trasbordo Transmilenio alimentador

Total de viajes en transporte público	5,051,159
Viajes en transporte público con trasbordo	491,999
Tasa de trasbordo viajes en transporte público	9.74%

Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

5. METODOLOGÍA DE AJUSTE DE LOS FACTORES DE EXPANSIÓN DE VIAJES EN LA ENCUESTA DE MOVILIDAD

5.1 AJUSTE DE GENERACIÓN

Uno de los primeros aspectos que se revisó en la encuesta fueron los niveles de generación de viajes, para esto se establece el impacto que tienen dos variables, el estrato y la población.

En lo referente al estrato socioeconómico, la tabla 16, muestra la tendencia del incremento de la tasa de generación en los estratos altos, comparado con los estratos bajos, por ejemplo el estrato uno tiene una tasa de generación de 0.60 viajes por habitante mayor de 5 años mientras que el estrato 6 es de 1.42.

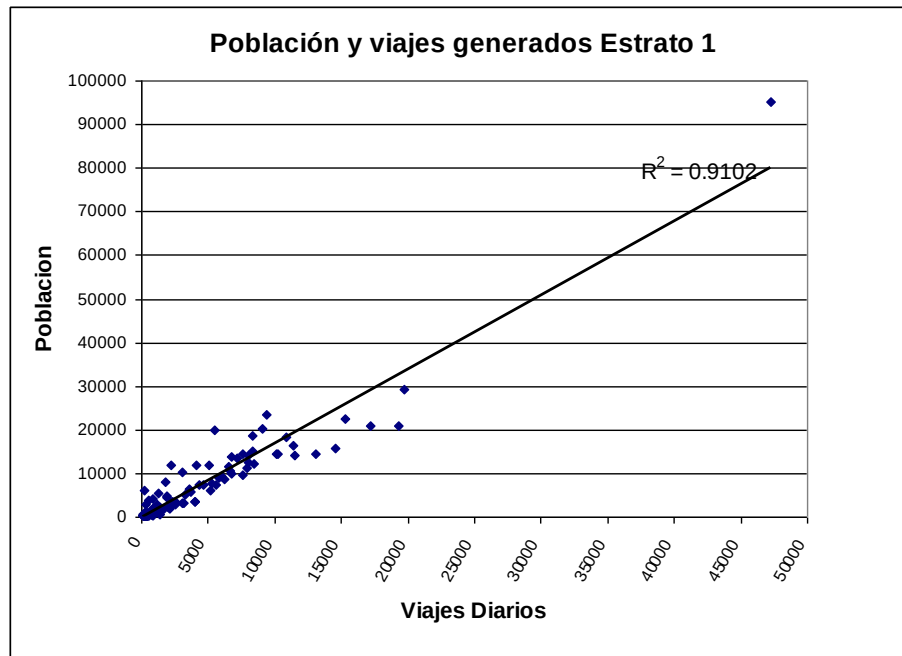
Tabla 16 Índices de generación de viajes por habitante

Estrato	Viajes diarios	Población	Viajes/hab.
1	468,222	778,319	0.602
2	1,990,673	2,593,023	0.768
3	2,531,364	2,676,788	0.946
4	858,055	663,614	1.293
5	241,131	182,109	1.324
6	224,684	158,220	1.42

Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

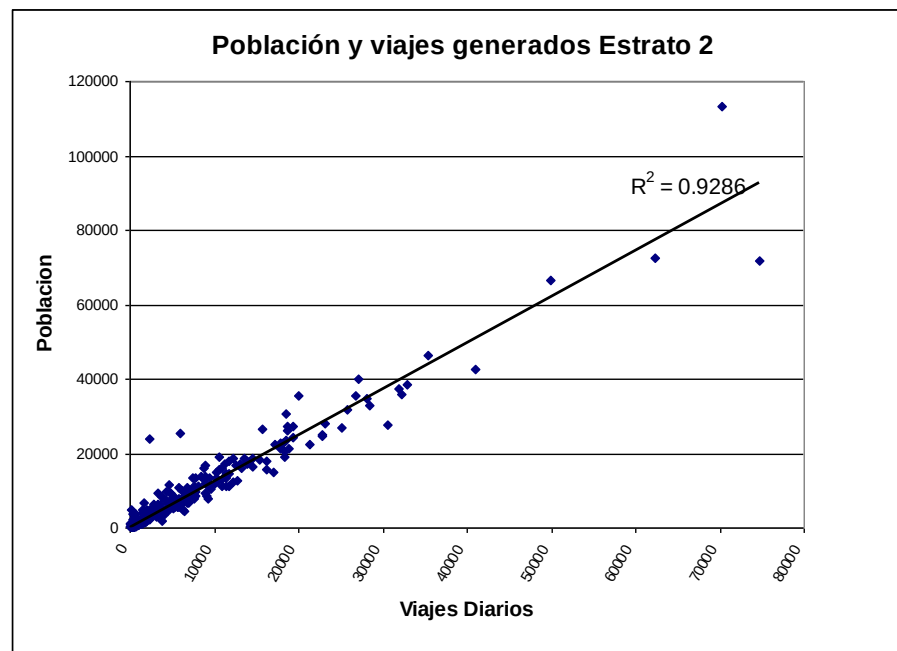
Teniendo en cuenta esta relación entre el estrato y la tasa de generación, se estableció la relación existente entre la población y los niveles de generación de viajes de cada zona discriminada por el estrato socioeconómico. Para esto se determinaron los índices de correlación que se muestran en las Figura 33 a la Figura 38. En general estos índices muestran una alta correlación con niveles de R2 mayores de 90%.

Figura 33 Población y viajes generados Estrato 1



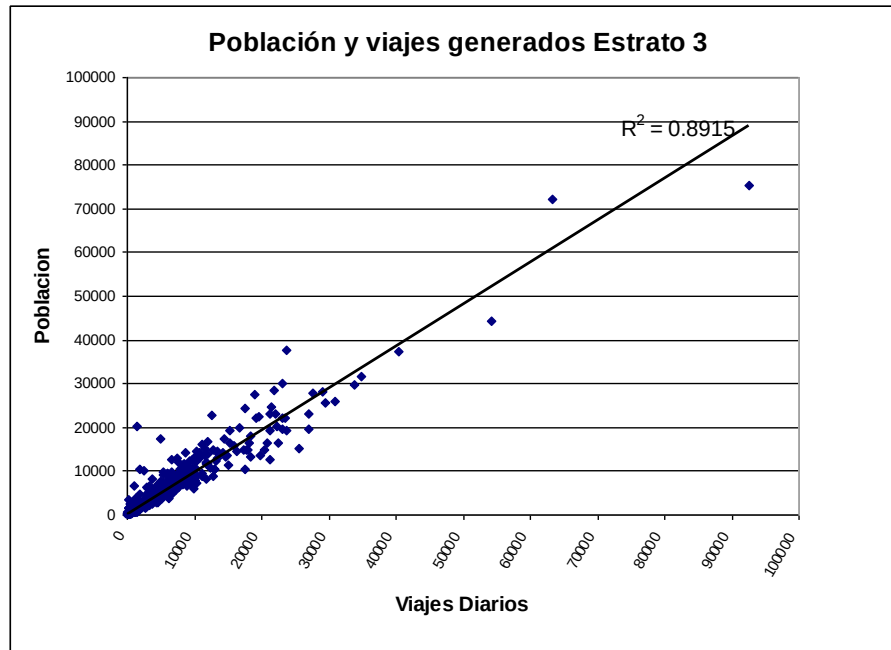
Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

Figura 34 Población y viajes generados Estrato 2



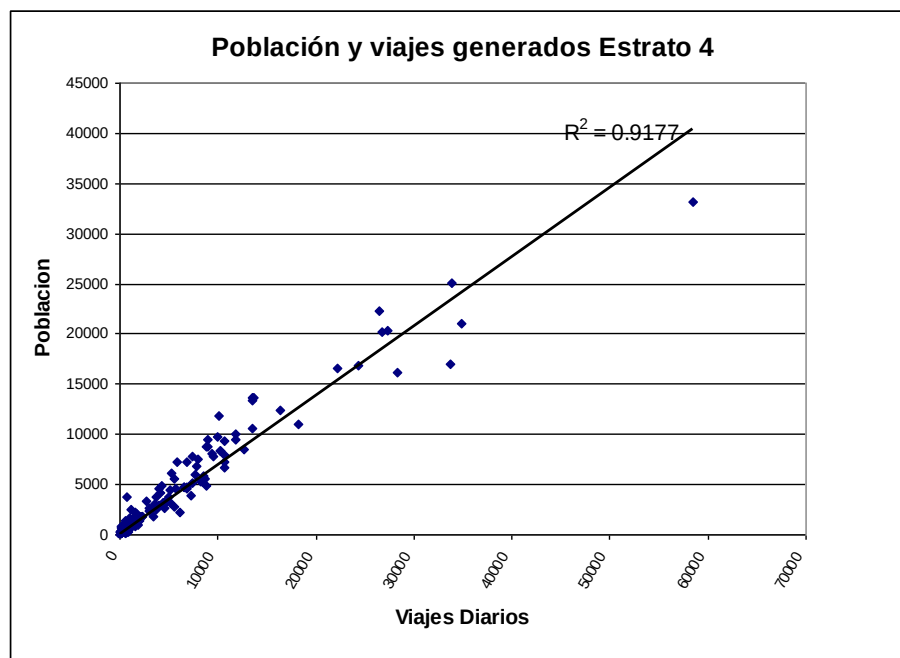
Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

Figura 35 Población y viajes generados Estrato 3



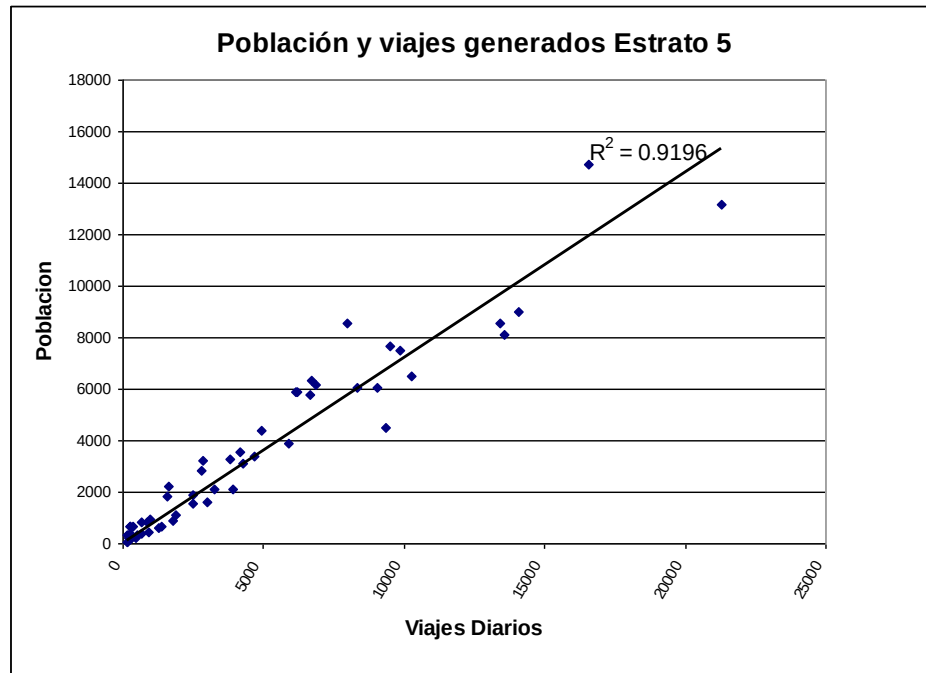
Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

Figura 36 Población y viajes generados Estrato 4



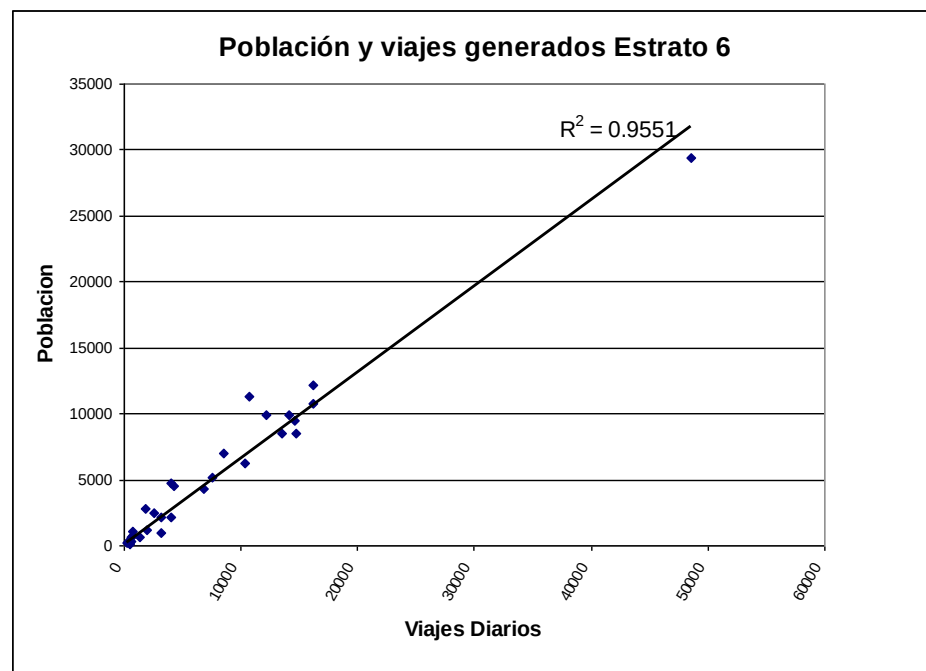
Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

Figura 37 Población y viajes generados Estrato 5



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

Figura 38 Población y viajes generados Estrato 6

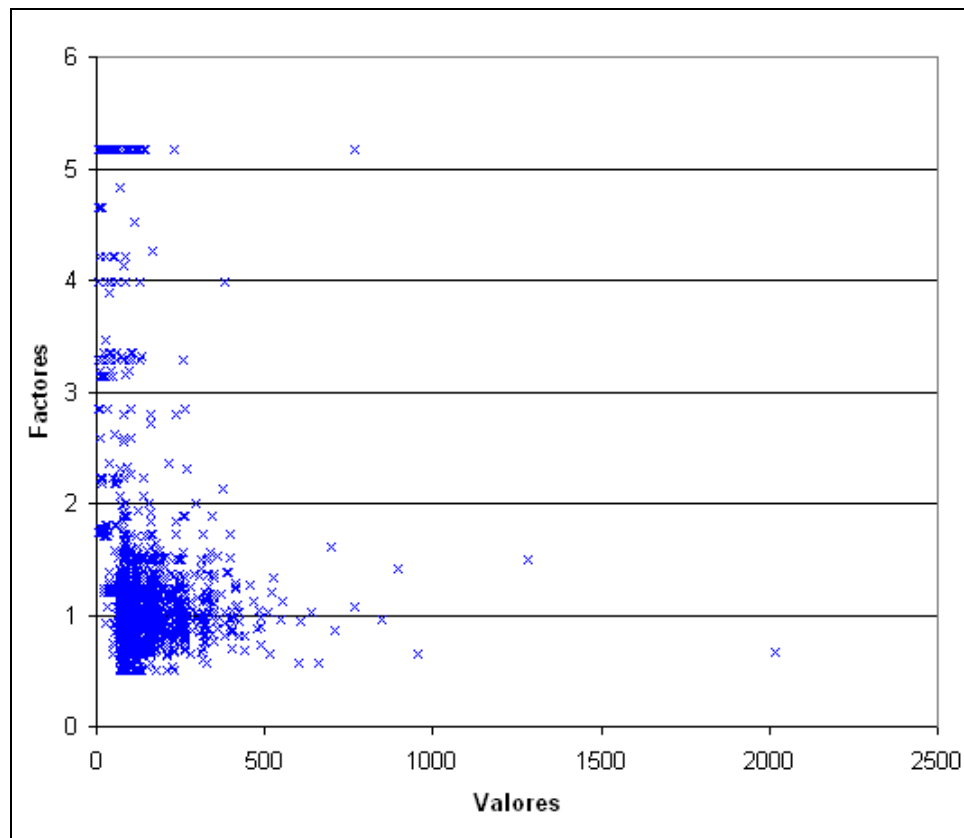


Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

Teniendo en cuenta las líneas de tendencia ajustada para cada estrato se realizó una revisión y ajuste a los factores de expansión para reflejar la tendencia de generación de cada estrato. Este ajuste permite obtener una distribución más razonable de las tasas de generación por zonas.

En la Figura 39 se ilustra los niveles de factores de ajuste definidos en relación con los valores de generación. En general esta figura muestra como los factores de ajuste más altos se aplican a valores de generación bajos, lo cual permite conservar la integridad referencial de la base de datos.

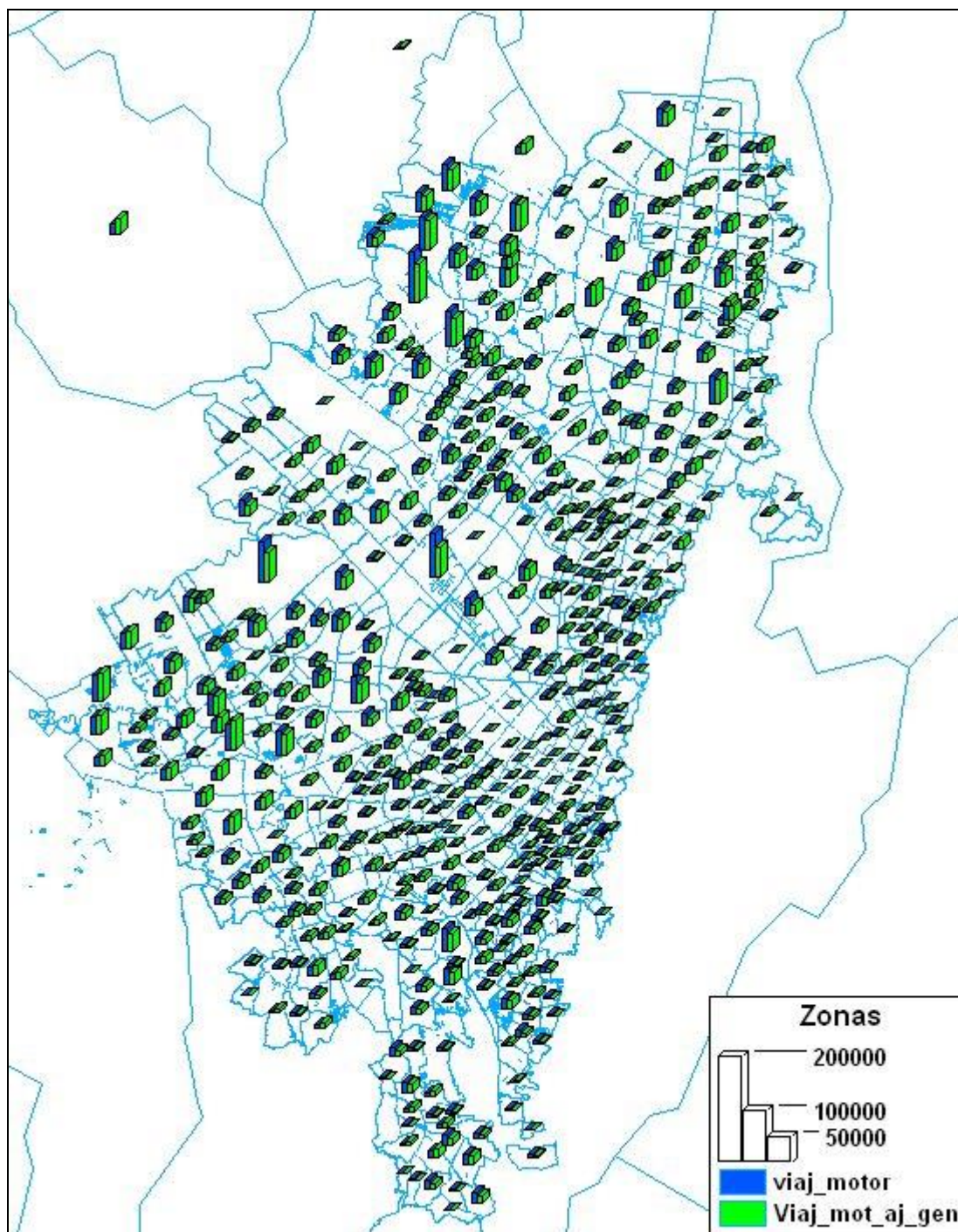
Figura 39 Factores de ajuste por generación



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad.

En la Figura 40 se ilustran los resultados de los viajes generados por zona de tráfico en las situaciones con y sin ajuste. En esta figura se observa que los niveles altos de generación recibieron un ajuste relativamente pequeño.

Figura 40 Comparación de Viajes por zona domiciliaria con y sin ajuste por generación

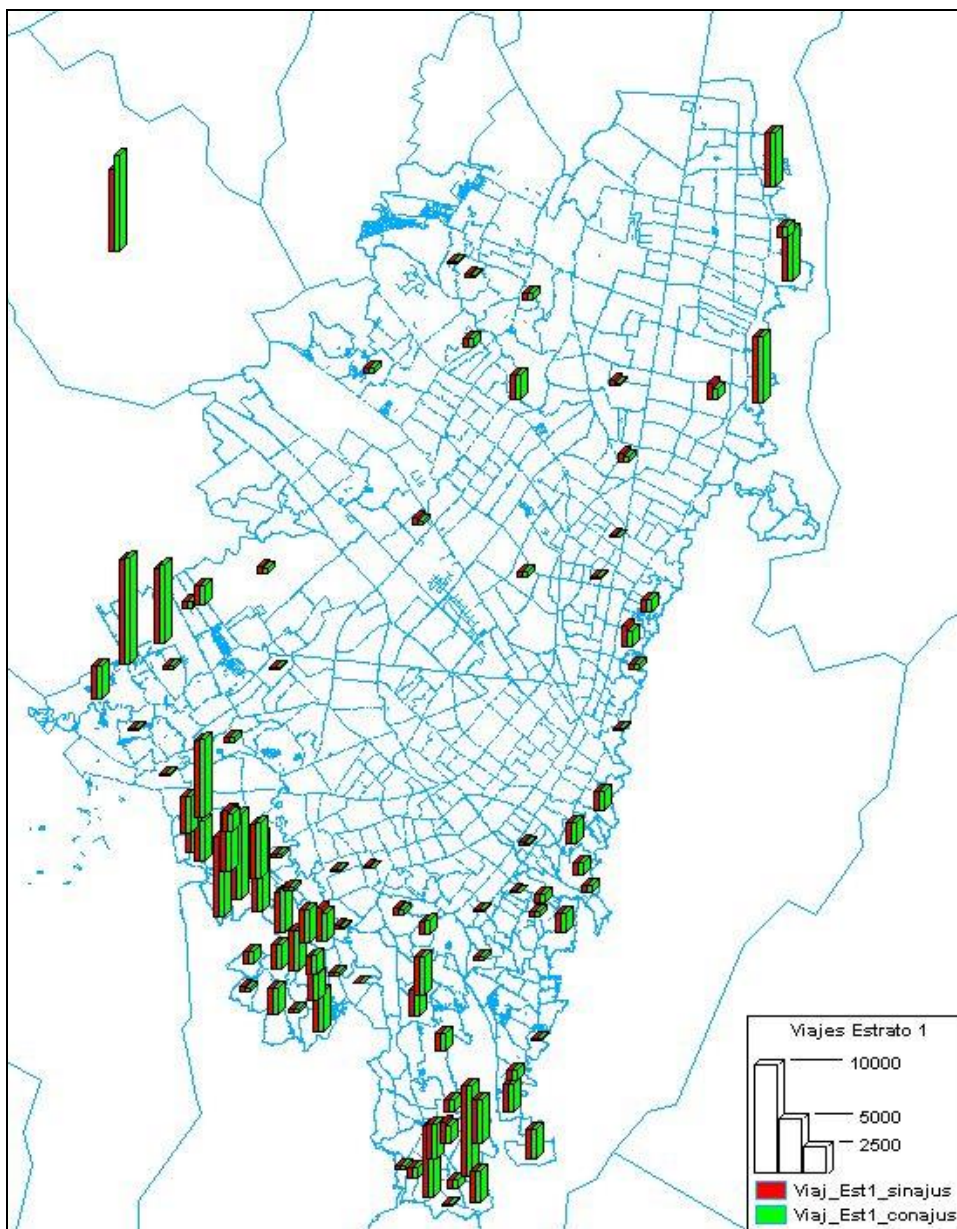


Fuente: Elaboración propia.

En las Figura 41 a la Figura 46 se ilustran los resultados obtenidos para cada estrato, comparando los viajes con ajuste y sin ajuste.

En el estrato 1 se destaca un incremento bajo en algunas zonas de la localidad de Ciudad Bolívar, un aumento en zonas de Bosa.

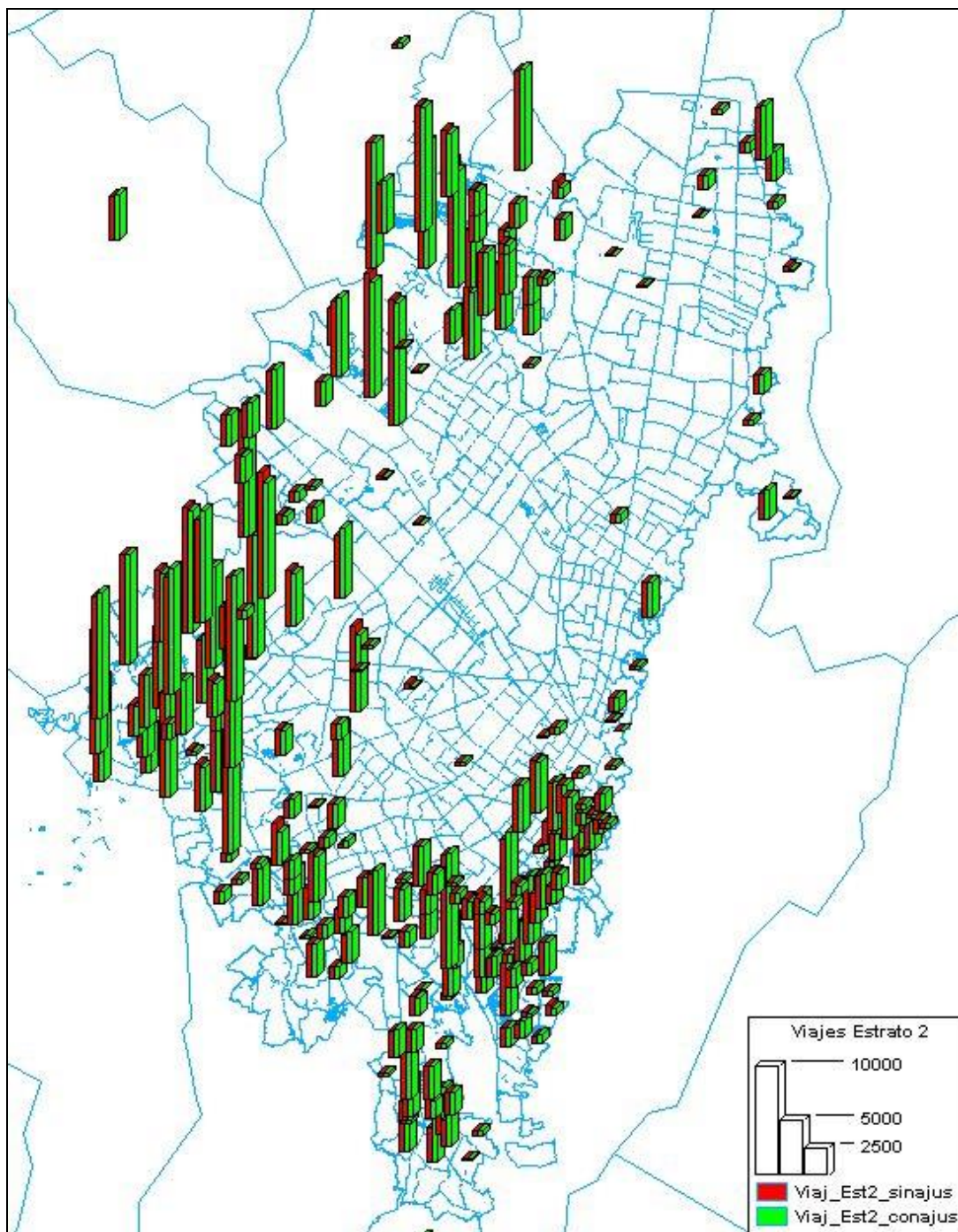
Figura 41 Viajes por zona domiciliaria con y sin ajuste por generación. Estrato 1



Fuente: Elaboración propia.

Para el estrato 2 no se observan cambios significativos, solamente incrementos menores en el sector de Bosa.

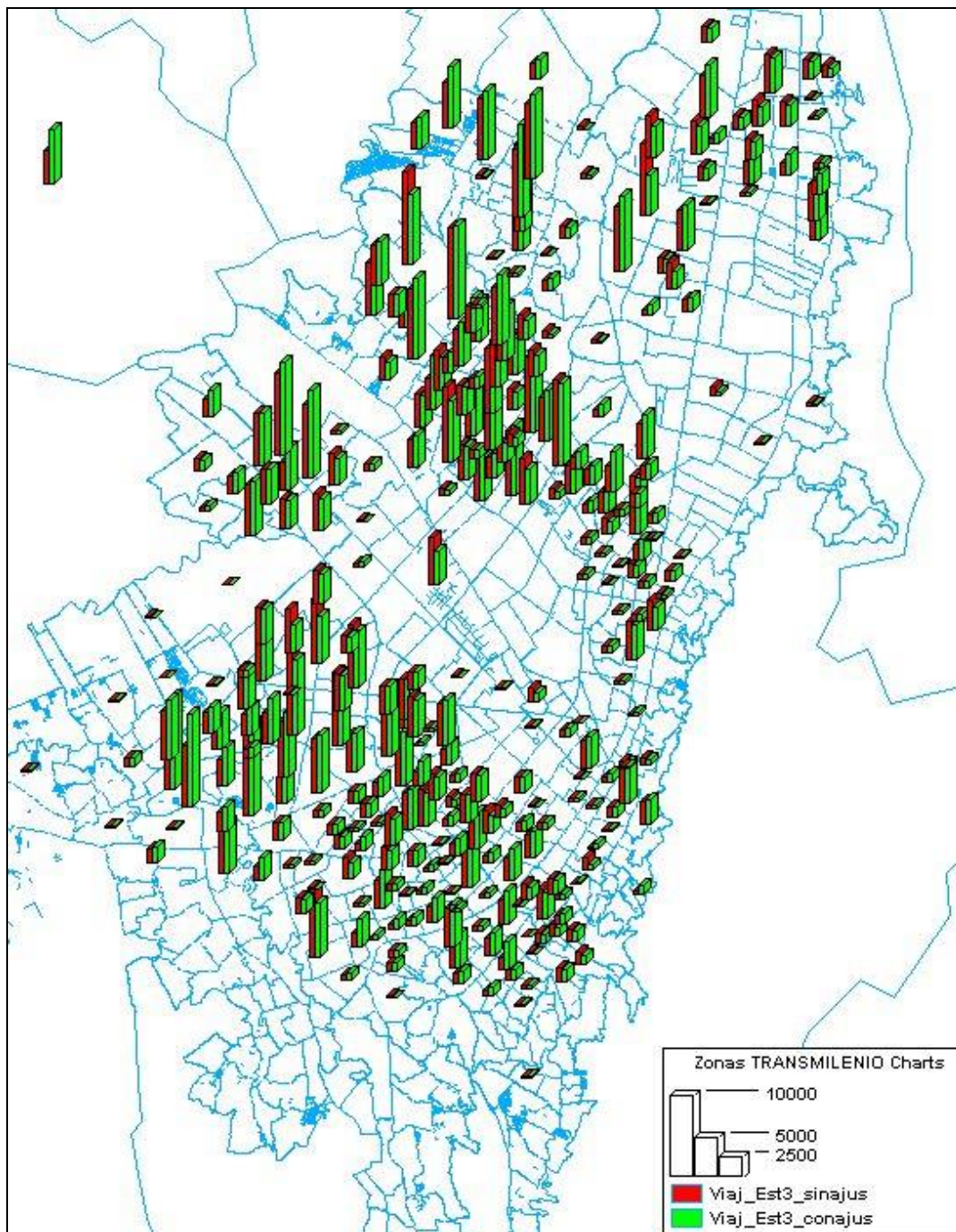
Figura 42 Viajes por zona domiciliaria con y sin ajuste por generación. Estrato 2



Fuente: Elaboración propia.

Los ajustes para el estrato 3 generan incrementos en las zonas del norte y de Fontibón, se observa disminución en zonas localizadas de Engativá, en zonas aledañas a la Calle 134 con Avenida Boyacá.

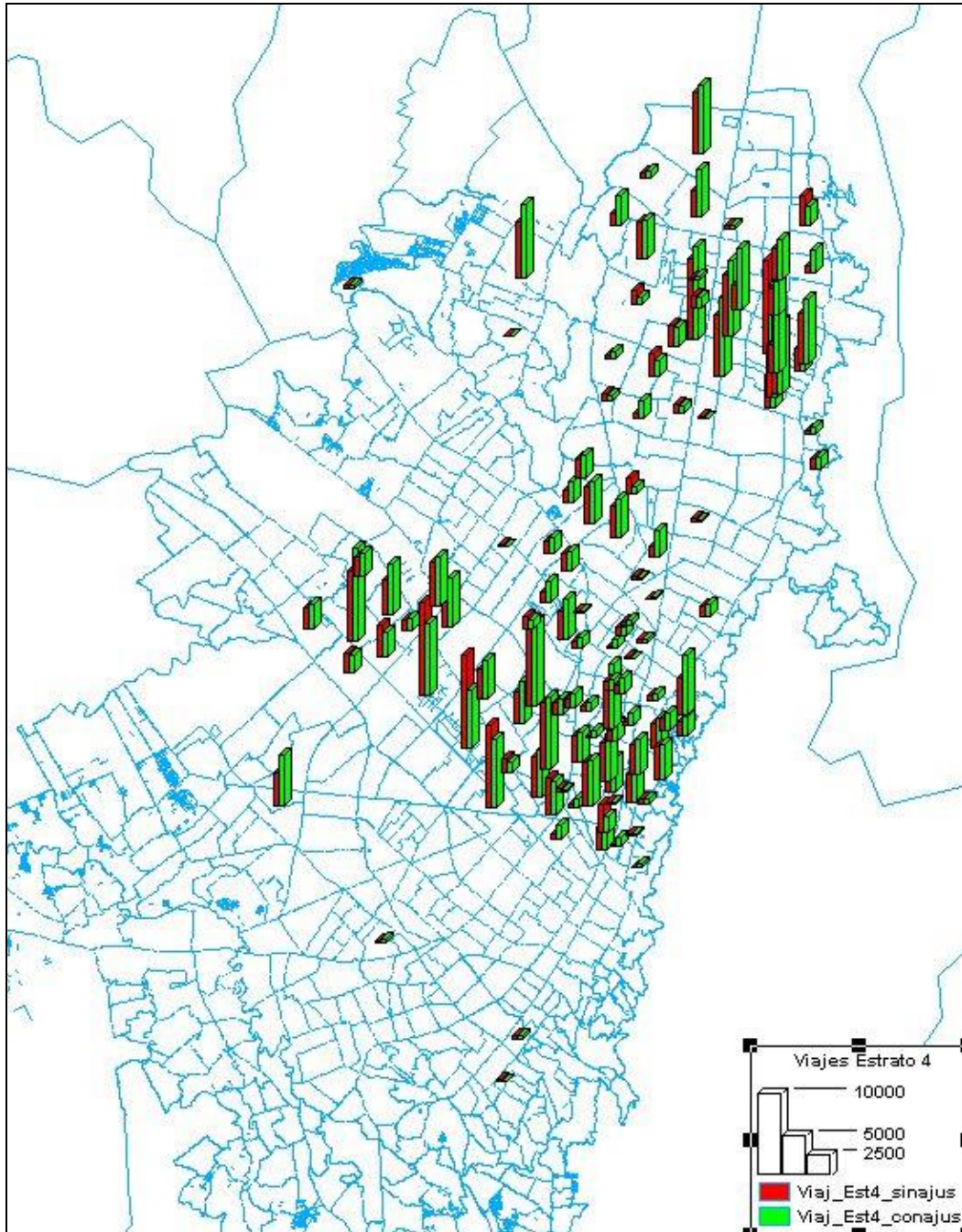
Figura 43 Viajes por zona domiciliaria con y sin ajuste por generación. Estrato 3



Fuente: Elaboración propia.

En el estrato 4 se presentan incrementos en las zonas del norte y disminuciones en zonas aledañas a la Avenida Eldorado.

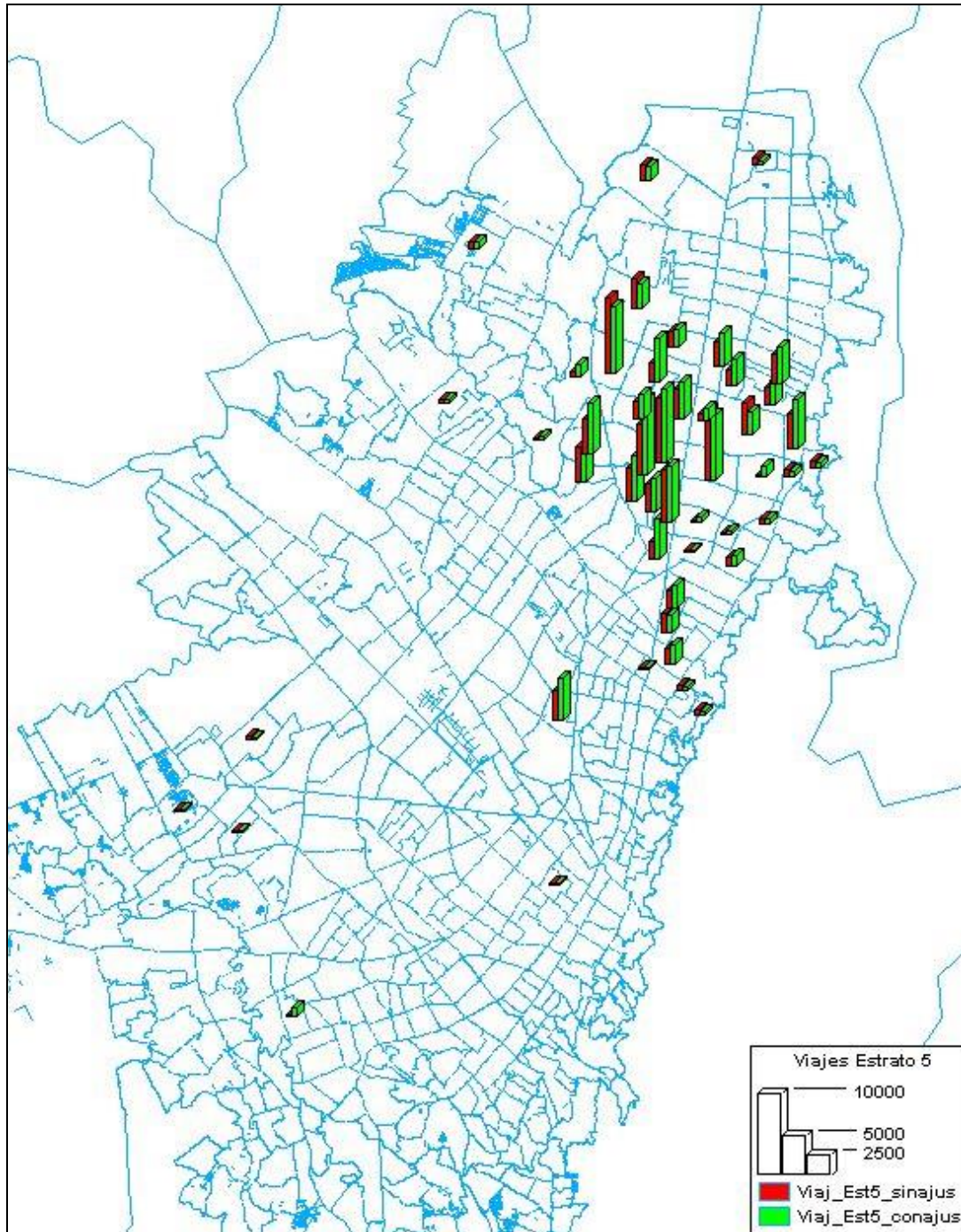
Figura 44 Viajes por zona domiciliaria con y sin ajuste por generación. Estrato 4



Fuente: Elaboración propia.

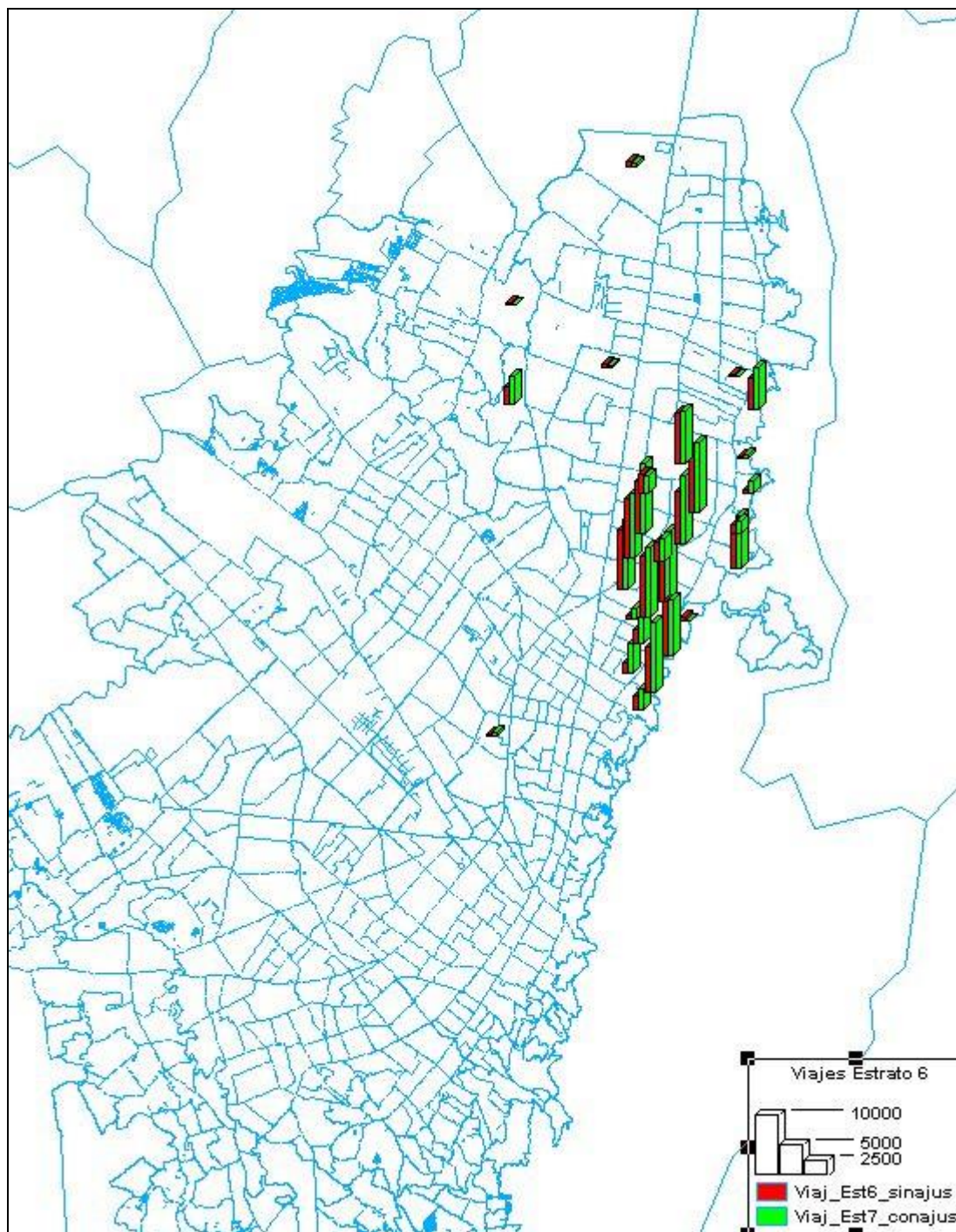
En los estratos 5 y se observa una tendencia marcada al incremento, lo que puede indicar algunas deficiencias en la toma de información.

Figura 45 Viajes por zona domiciliaria con y sin ajuste por generación. Estrato 5



Fuente: Elaboración propia.

Figura 46 Viajes por zona domiciliaria con y sin ajuste por generación. Estrato 6



Fuente: Elaboración propia.

5.2 AJUSTE DE REPARTO MODAL

Un segundo nivel de verificación fue el del reparto o selección modal, entre el transporte público y el transporte privado. Se encontró una importante diferencia de reparto modal entre los diferentes estratos, tal como se observa en la Tabla 17, por ejemplo para el estrato 1 el porcentaje de viajes en transporte privado es del 4.5% y en público del 95.5% mientras que para el estrato 6 los porcentajes de privado ascienden a 83.8% y del transporte público desciende a 16.2%, lo cual es consistente con los niveles de ingreso.

Tabla 17 Viajes en los modos público y privado

ESTRATO	Publico	Privado	Total	P_Priv	P_Pub
1	442268	20884	463152	4.5%	95.5%
2	1835490	123262	1958751	6.3%	93.7%
3	1961499	496385	2457885	20.2%	79.8%
4	426142	387894	814036	47.7%	52.3%
5	83259	150307	233566	64.4%	35.6%
6	35455	183116	218571	83.8%	16.2%

Fuente: Elaboración propia.

Basado en este patrón de comportamiento se establece un nivel de comparación con los valores de reparto modal de cada estrato zona a zona.

El procedimiento incluyó la generación de un factor de ajuste para acercar los porcentajes de reparto modal a la tendencia definida en la Tabla 17, tratando de no modificar en forma sustancial la base de datos original, para esto se analizaron los niveles de diferencia entre los repartos obtenidos en cada zona por estrato y los repartos modales esperados, observando los volúmenes de viajes implicados en cada modificación. De esta forma, solamente se admitieron valores altos de ajuste, factores mayores de 2.0 o menores de 0.5, en estratos de zonas con bajos volúmenes, lo cual se verifica en la Tabla 18 que representa los valores de volúmenes de viajes y los factores aplicados, en general los factores más altos se aplicaron a volúmenes bajos, lo cual permite mantener la integridad referencial de la base de datos.

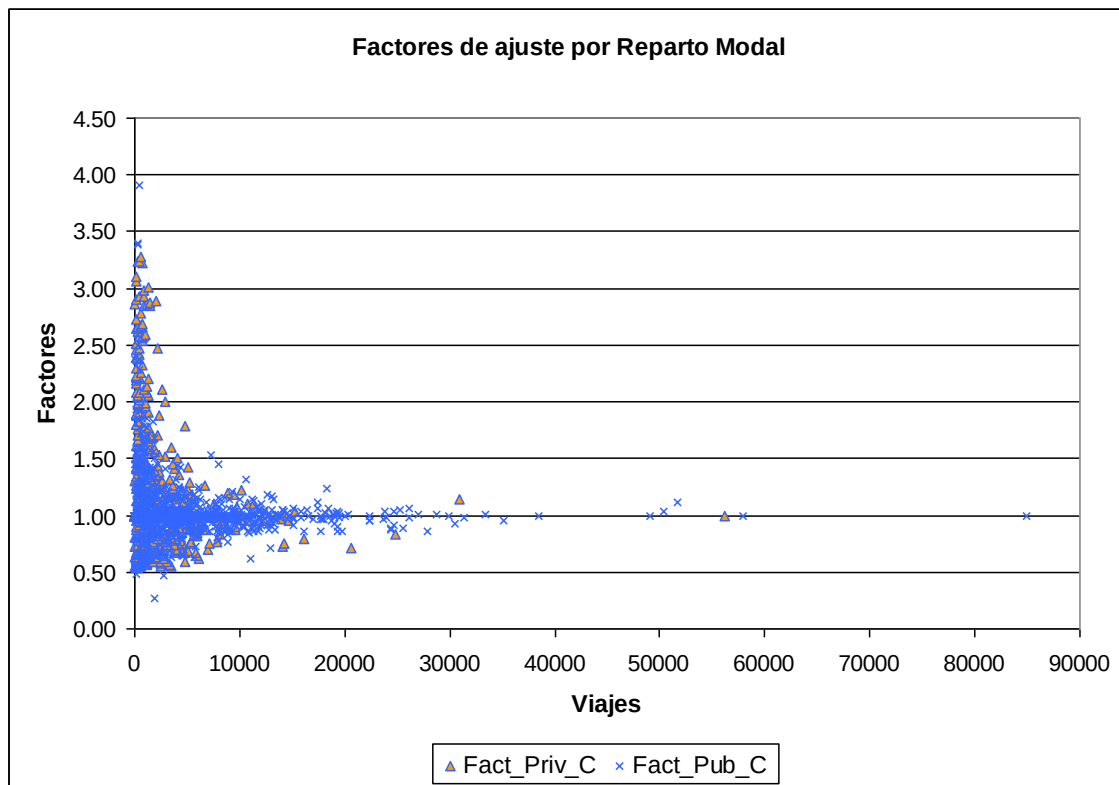
El reparto modal resultante se muestra en la Tabla 18, en general no se presentan modificaciones sustanciales a los valores de referencia de la Tabla 17, solamente se observa un ligero incremento en la participación de los modos privados para los estrato 5 y 6.

Tabla 18 Viajes en los modos público y privado ajustados por reparto modal

ESTRATO	Publico	Privado	Total	P_Priv	P_Pub
1	441168	21820	462989	4.7%	95.3%
2	1838473	117889	1956362	6.0%	94.0%
3	1923654	523694	2447347	21.4%	78.6%
4	421976	388100	810076	47.9%	52.1%
5	77347	155707	233054	66.8%	33.2%
6	29671	189532	219202	86.5%	13.5%

Fuente: Elaboración propia.

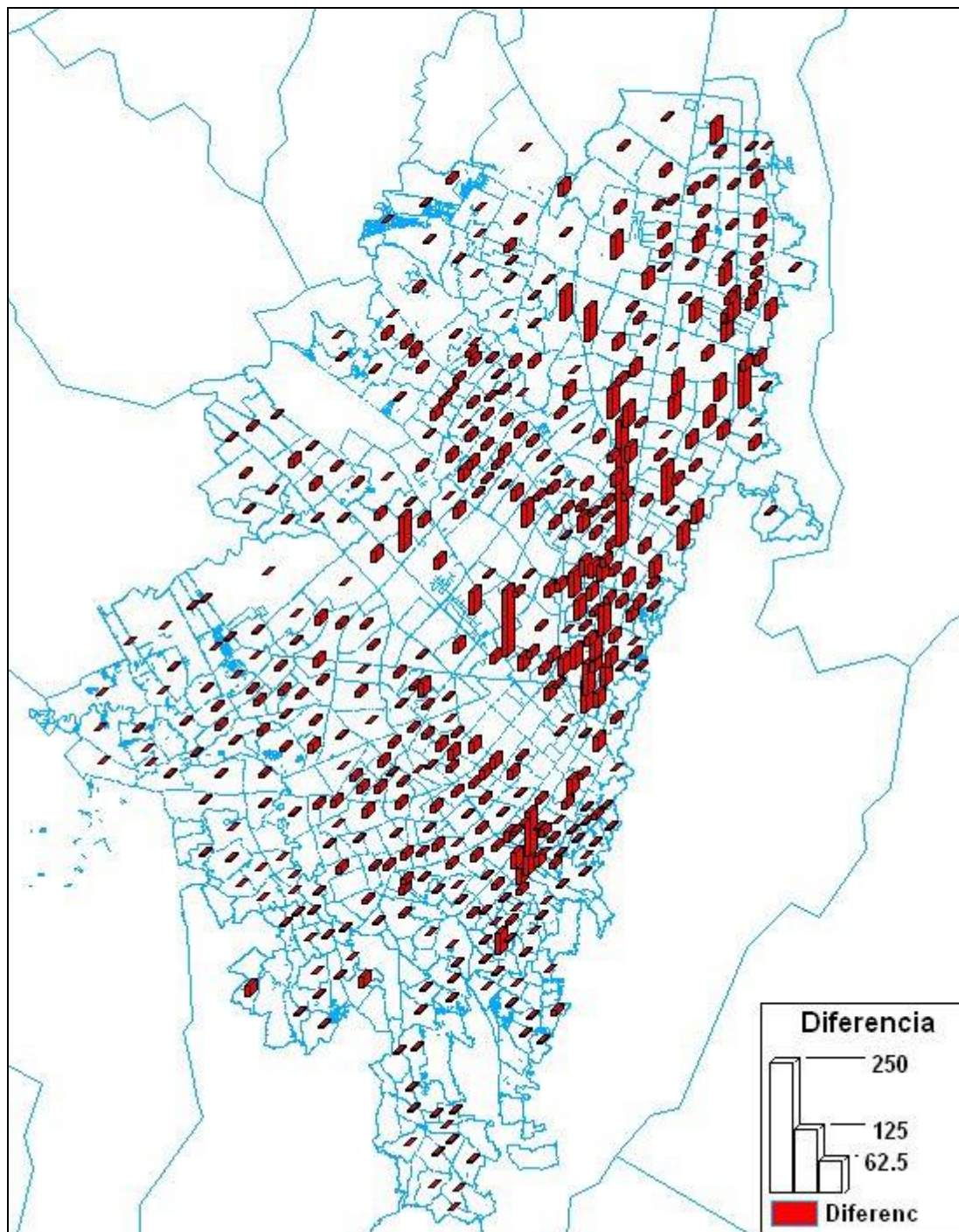
Figura 47 Factores de ajuste por reparto modal



Fuente: Elaboración propia.

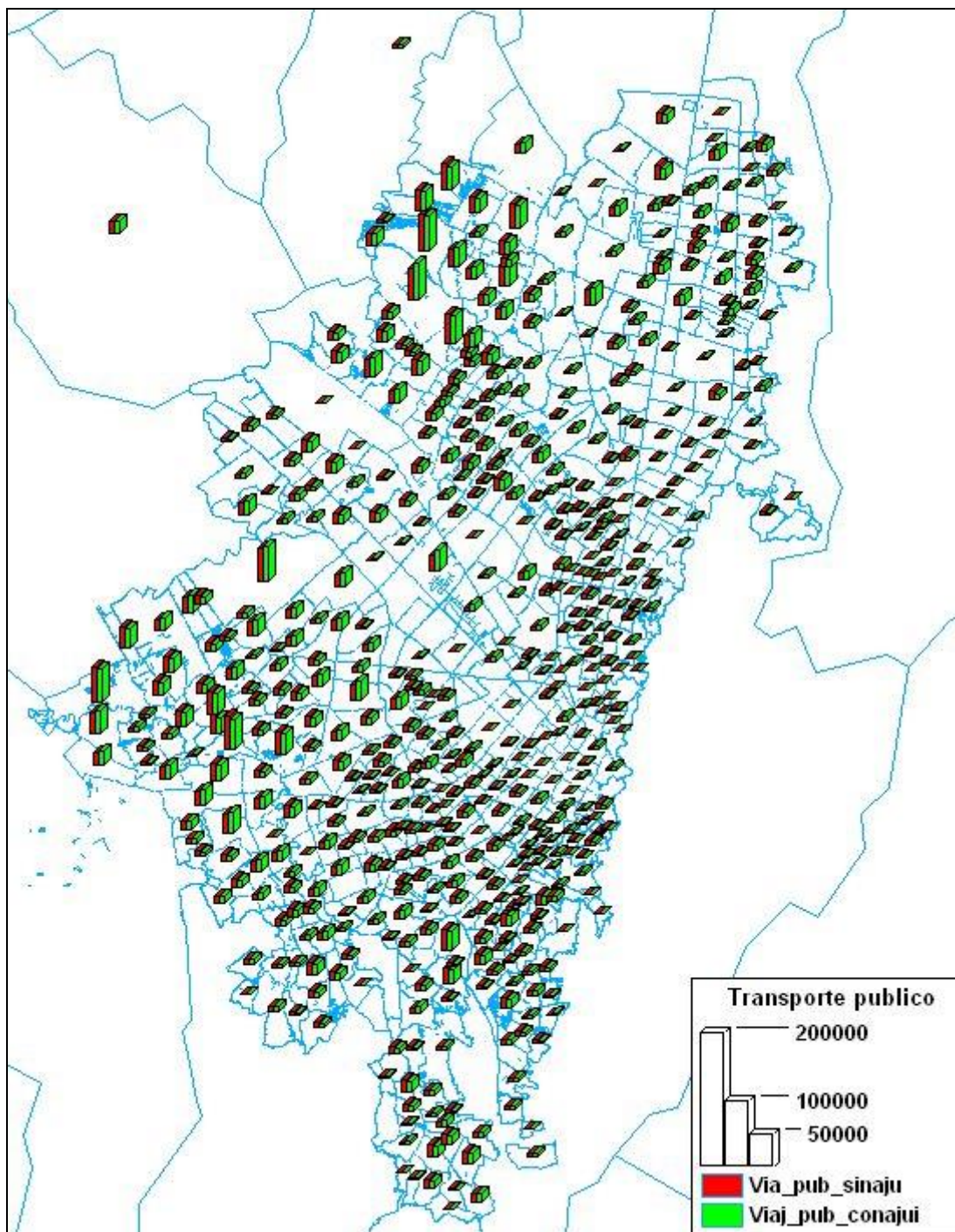
En la Figura 48 se ilustra la diferencia porcentual expresada en valores absolutos entre los viajes en transporte público para las situaciones con y sin ajuste por reparto modal. Se destacan los ajustes en las zonas de Chapinero, a lo largo de la Calle 26 y en algunas zonas al norte de la ciudad. La Figura 49 presenta la comparación entre los viajes en transporte público con y sin ajuste en general se puede verificar que en los sectores donde se tienen altos factores de ajustes los volúmenes son relativamente bajos.

Figura 48 Diferencia porcentual absoluta de viajes en transporte publico con y sin ajuste por reparto modal por zona residencial



Fuente: Elaboración propia.

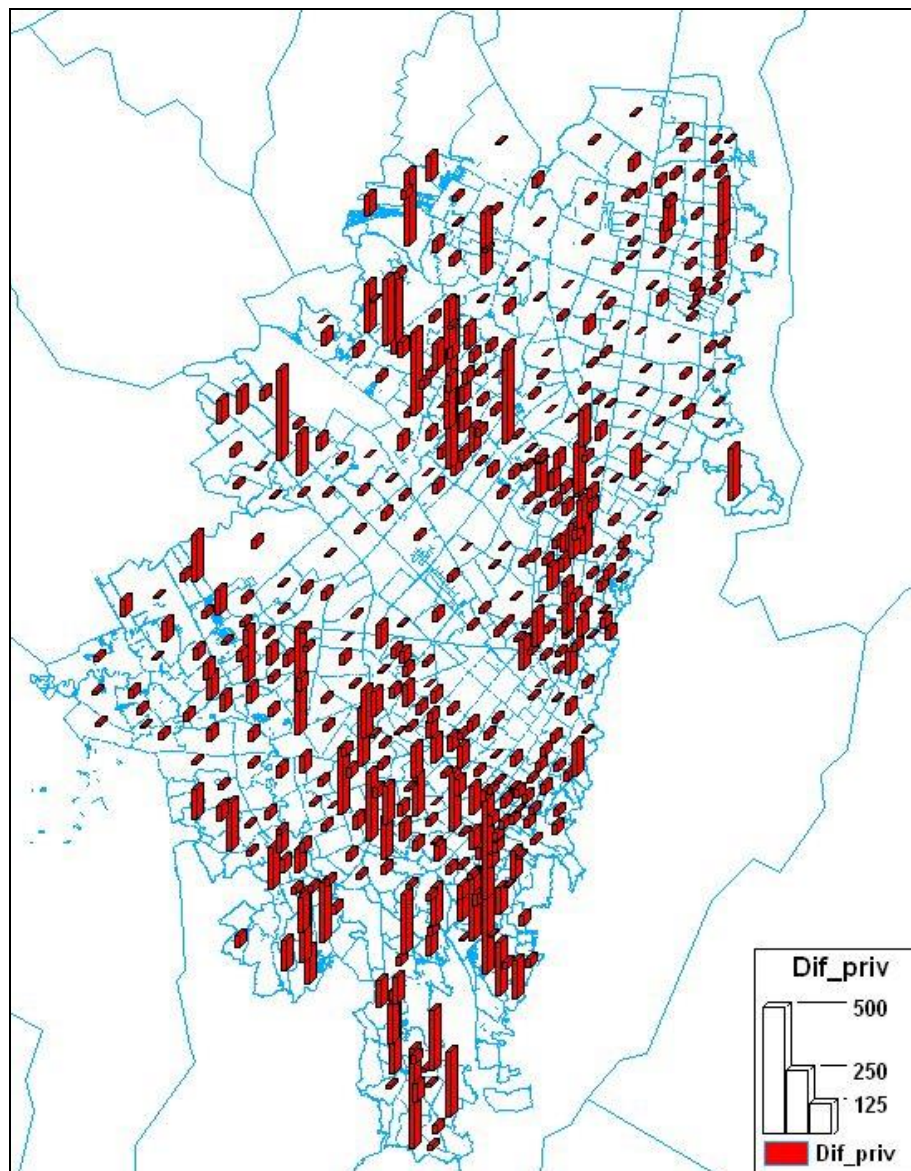
Figura 49 Viajes en transporte publico con y sin ajuste por reparto modal por zona residencial



Fuente: Elaboración propia.

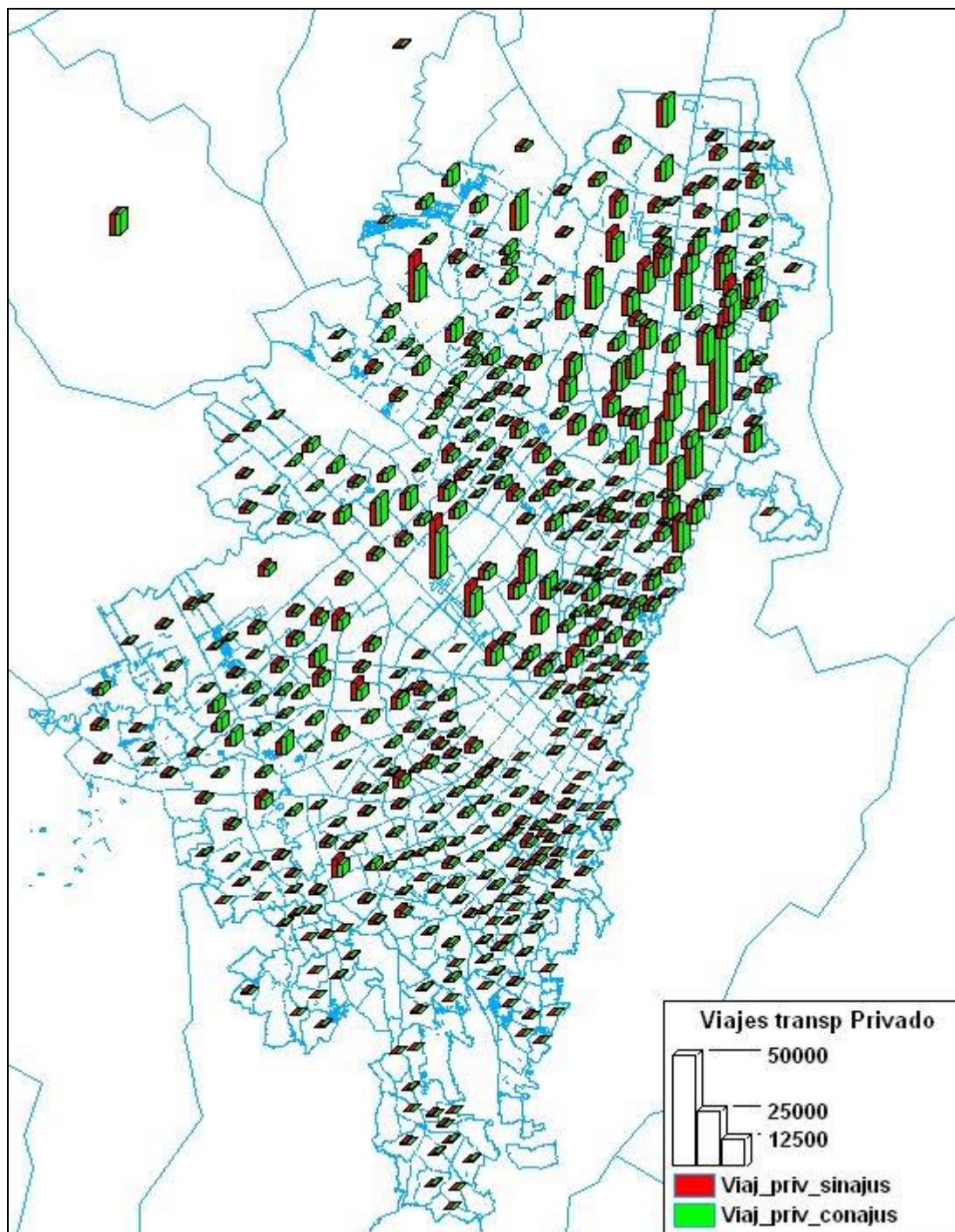
Las Figura 50 y Figura 51 presentan los resultados obtenidos de diferencia porcentual de la aplicación de los factores y la comparación de los volúmenes obtenidos para los modos de transporte privado. Los mayores ajustes se presentan en las zonas ubicadas al sur de la ciudad y en zonas aledañas a la Avenida 80. Nuevamente se verifica que aunque estas variaciones son altas los volúmenes de viajes en transporte privado de estas zonas son relativamente bajos, garantizando que la base de datos no se afecta en forma sustancial.

Figura 50 Diferencia porcentual absoluta de viajes en transporte privado con y sin ajuste por reparto modal por zona residencial



Fuente: Elaboración propia.

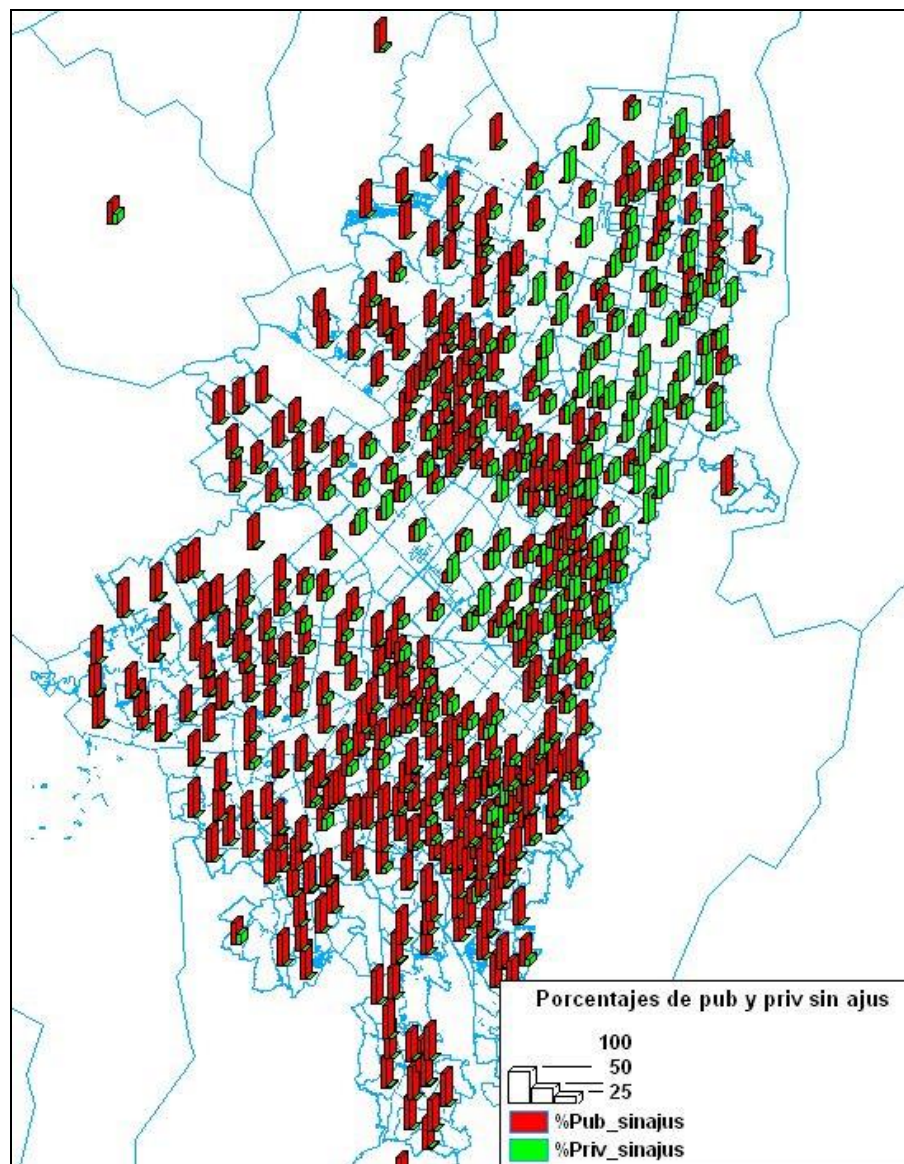
Figura 51 Viajes en transporte privado con y sin ajuste por reparto modal por zona residencial



Fuente: Elaboración propia.

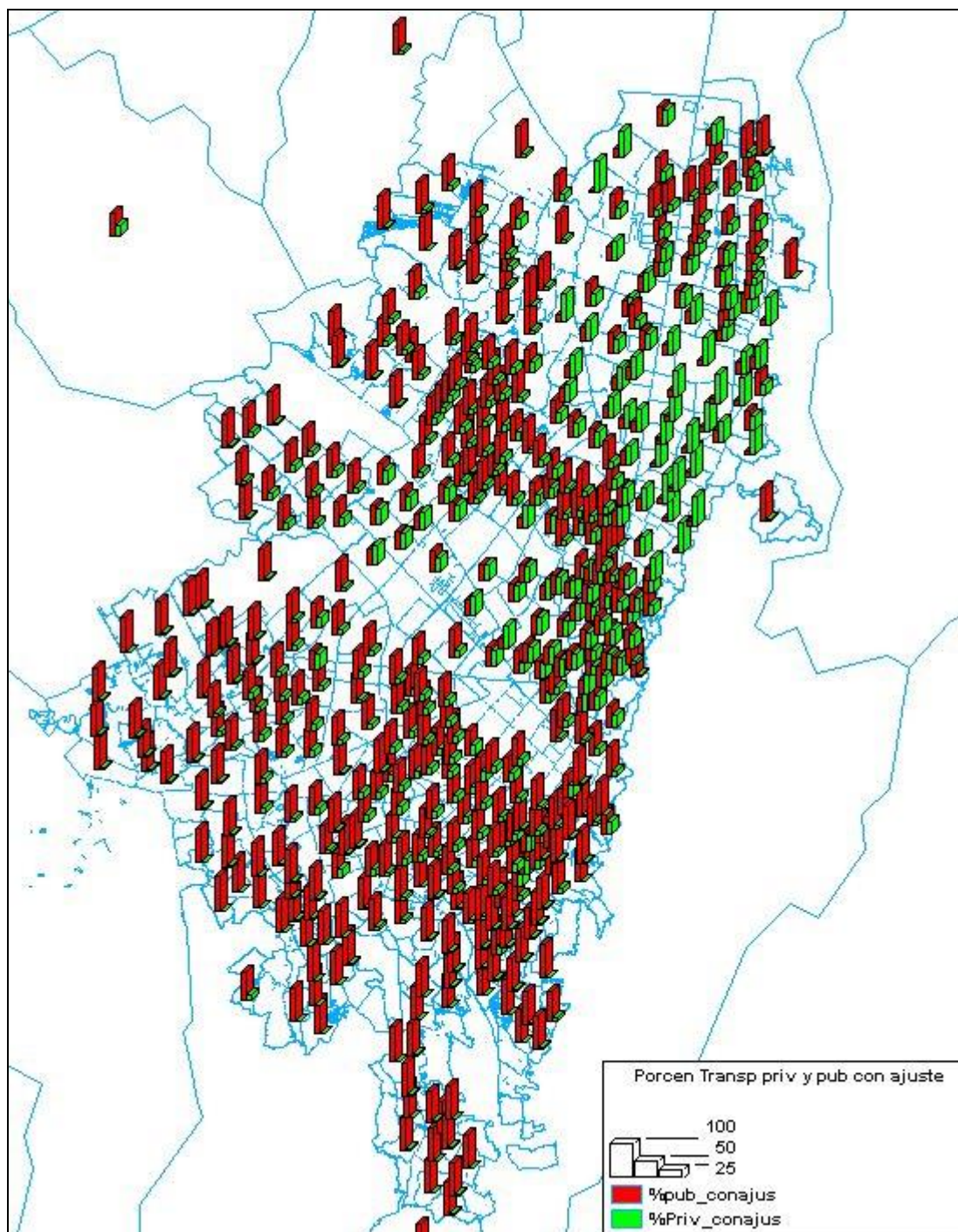
En la Figura 52 y la Figura 53 se ilustran los repartos modales de transporte público y privado para las situaciones sin y con ajuste. En general se destaca la mayor participación del transporte privado en zonas del norte de la ciudad y en los alrededores de la Avenida Eldorado, lo cual es consistente con la ubicación de estratos altos en la ciudad. Esta tendencia no se modifica con el ajuste por el reparto modal.

Figura 52 Porcentaje de viajes en transporte público y privado sin ajuste por reparto modal por zona residencial



Fuente: Elaboración propia.

Figura 53 Porcentaje de viajes en transporte público y privado con ajuste por reparto modal por zona residencial

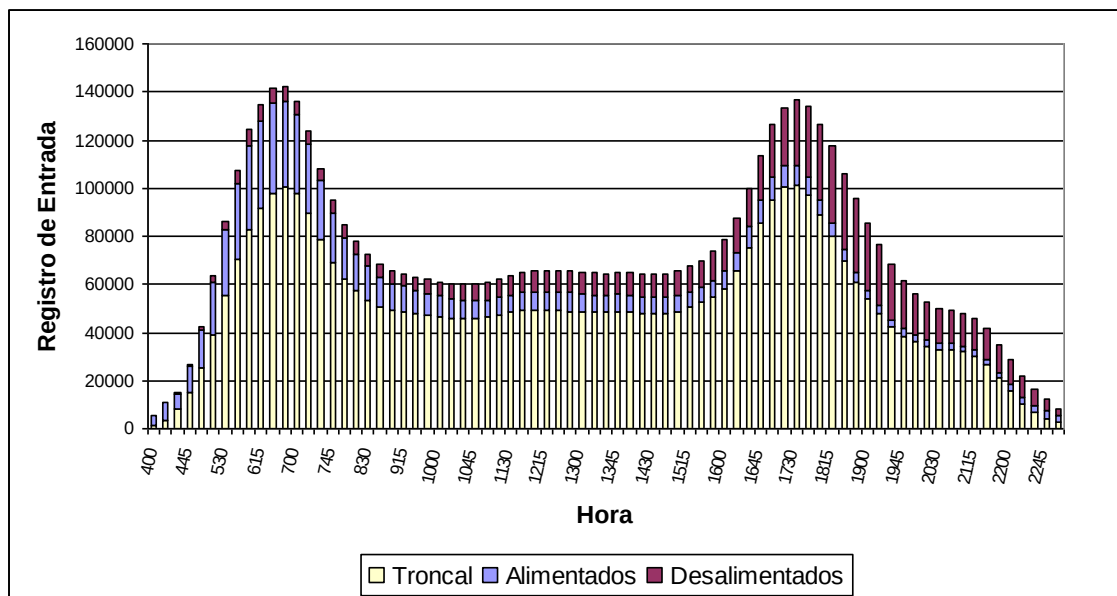


Fuente: Elaboración propia.

5.3 AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN HORARIA

Una vez desarrollados los ajustes por generación y reparto modal se procedió a realizar la revisión de la fluctuación horaria, para esto se realizó una comparación entre la fluctuación de la encuesta con un patrón, consistente en la información proporcionada por Transmilenio de los registros de ingreso en los torniquetes de las estaciones del sistema entre el 22 y el 24 de mayo de 2005. Esta información proporciona un patrón confiable a nivel de la ciudad de la fluctuación horaria. En la Figura 54 se presenta la información promedio para los tres días.

Figura 54 Fluctuación horaria de registros de entrada en estaciones Transmilenio

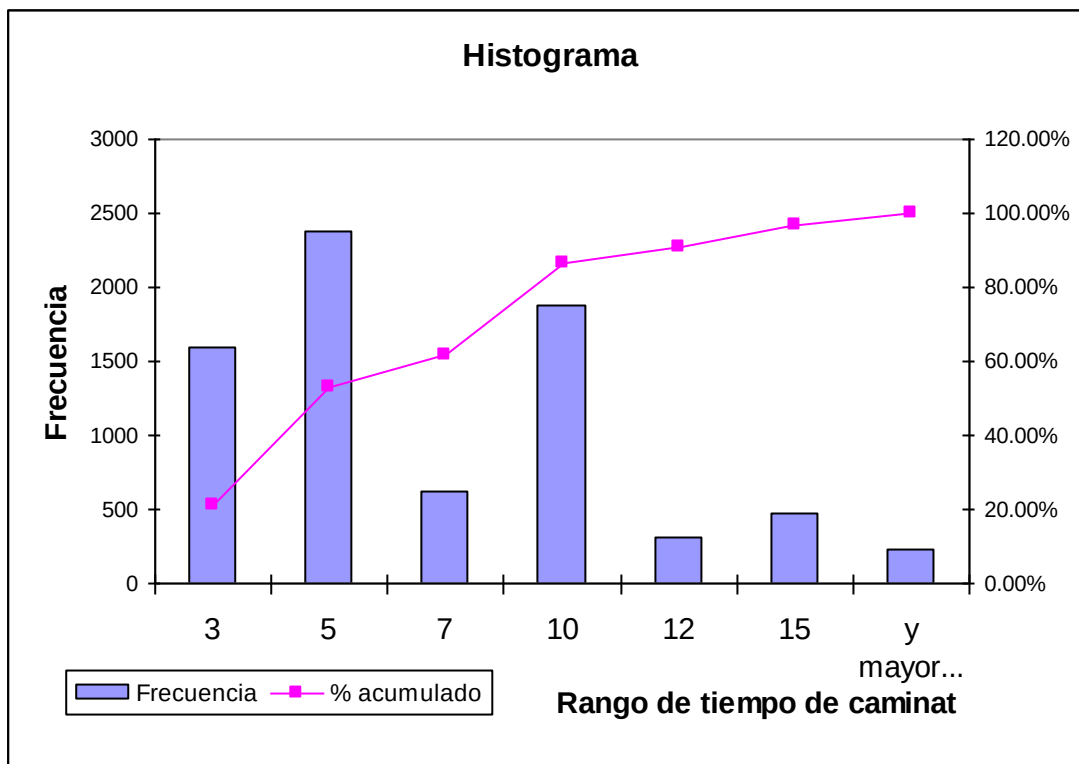


Fuente: Transmilenio S.A

Teniendo en cuenta que la hora de salida de los viajes de la encuesta no coincide con la hora de registro de las entradas de Transmilenio, se realizó un análisis de los tiempos de caminata para acceder a este sistema, en la Figura 55 se presenta el histograma de los tiempos de caminata para los viajes en modo Transmilenio, en general se observa que mas del 90% de los viajes presentan una distancia de caminata menor a 12 minutos, el valor promedio es de 6 minutos.

Con base en esta información se ajustó la fluctuación horaria de Transmilenio, desfasándola un cuarto de hora para garantizar la consistencia con la información de la encuesta.

Figura 55 Histograma de Tiempo de caminata para acceder a Transmilenio



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 19 y en la Figura 56 se presenta la comparación de la fluctuación horaria de los volúmenes obtenidos de la Encuesta ajustada con los factores de generación y reparto modal y los registros de los viajes en troncal proporcionados por Transmilenio, de la misma forma se establece el factor de comparación hora a hora. Se destaca el hecho de que en las horas valle los volúmenes de viajes en Transmilenio son menores a los registros observados, los factores de ajuste en este caso están entre 1.10 y 1.79.

Sin embargo, es importante destacar que los valores totales de los registros de Transmilenio solamente son un 13% mayor a los registros de la Encuesta.

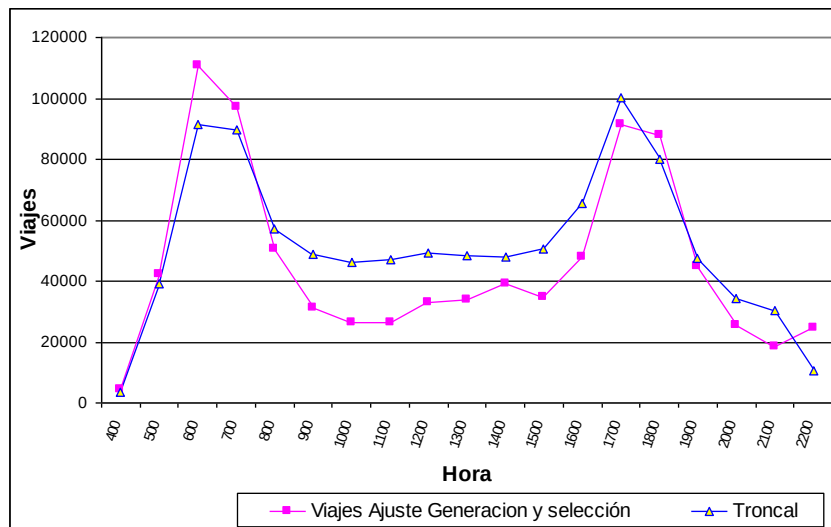
Con base en estas observaciones se consideró viable realizar un ajuste hora a hora de los viajes motorizados de la encuesta utilizando los factores encontrados de la comparación con los viajes del modo Transmilenio.

Tabla 19 Comparación de viajes en modo Transmilenio

Hora	Viajes Ajuste Generación y selección	Troncal	Factor
400	4571	3657	0.80
500	42153	39282	0.93
600	110977	91438	0.82
700	96971	89641	0.92
800	50627	57143	1.13
900	31139	48602	1.56
1000	26265	46123	1.76
1100	26311	47159	1.79
1200	32794	49065	1.50
1300	33968	48417	1.43
1400	39052	48084	1.23
1500	34740	50610	1.46
1600	47789	65300	1.37
1700	91250	100178	1.10
1800	87949	79804	0.91
1900	44818	47666	1.06
2000	25614	34207	1.34
2100	18614	30248	1.63
2200	24481	10578	0.43
Total	870081	987202	1.13

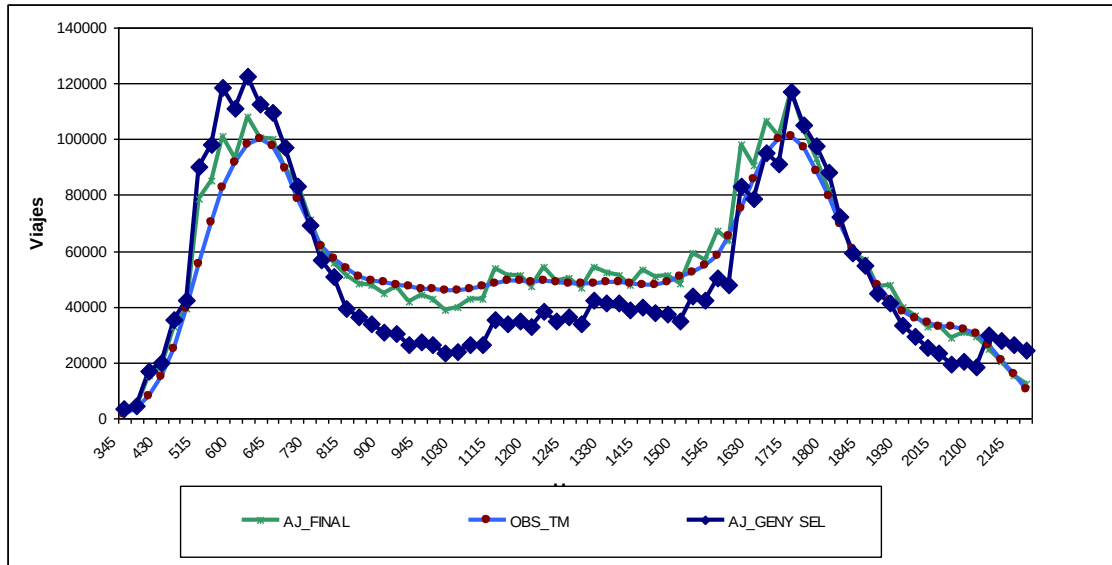
Fuente: Elaboración propia.

Figura 56 Comparación de viajes en Transmilenio, encuesta ajustada vs. registros de Transmilenio



Fuente: Elaboración propia.

Figura 57 Comparación de viajes en Transmilenio, encuesta ajustada vs. registros de Transmilenio



Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 20 resume los resultados en términos de viajes diarios por modo de los ajustes realizados a los modos motorizados de la encuesta, en general el total de viajes se incremento en un 13% con respecto a los registros bases, los mayores incrementos se registraron par los modos privados con incrementos cercanos al 15%.

Tabla 20 Resultados globales de los ajustes realizados

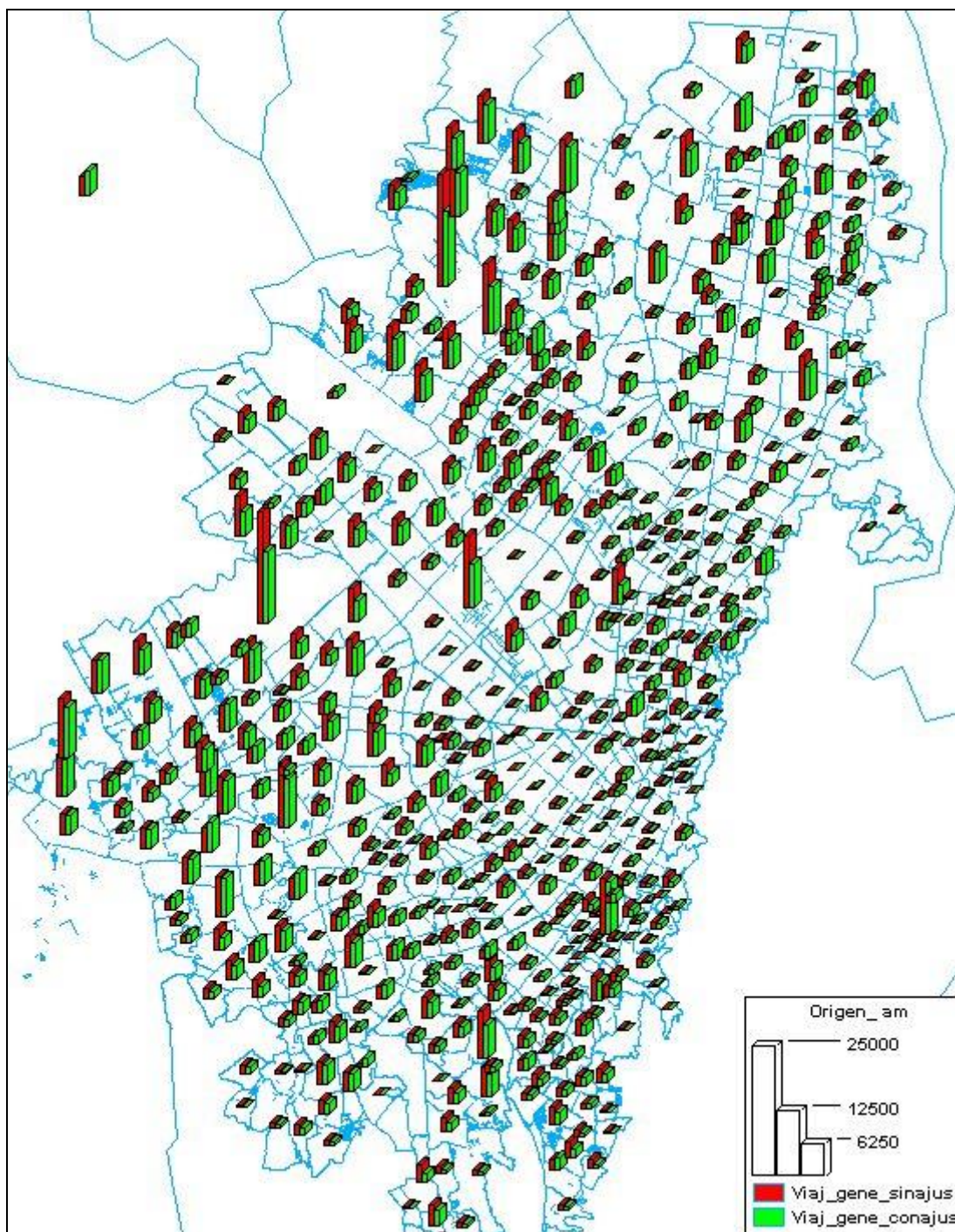
Modo	Cód	Base Encuesta	Ajuste Generación	Ajuste reparto modal	Ajuste Fluctuación horaria
Veh Privado como conductor	4	894,842	886,070	913,368	1,073,441
Veh Privado como pasajero	5	291,192	283,659	283,035	334,466
Taxi	6	280,117	266,547	274,786	329,458
Transmilenio	7	794,039	799,018	791,081	886,671
Bus Alimentador	8	65,025	62,944	61,900	68,917
Bus	9	1,647,246	1,627,076	1,607,569	1,797,729
Buseta	10	1,907,246	1,910,829	1,890,257	2,142,548
Microbus	11	608,179	629,941	627,174	707,393
Total		6,487,888	6,466,083	6,449,170	7,340,622

En la Figura 58 y la Figura 59, se representan los viajes por zona de origen y destino en las situaciones sin y con ajuste. Los viajes por origen han sido seleccionados en el periodo pico de la mañana de 5:00 a 8:00 y los viajes por destino de 4:00 a 7:00 p.m.

Para el caso del origen de los viajes los mayores incrementos se presentan en las zonas de Engativa y Fontibón, tendencia que se repite en el período pico de la tarde para el caso de la atracción.

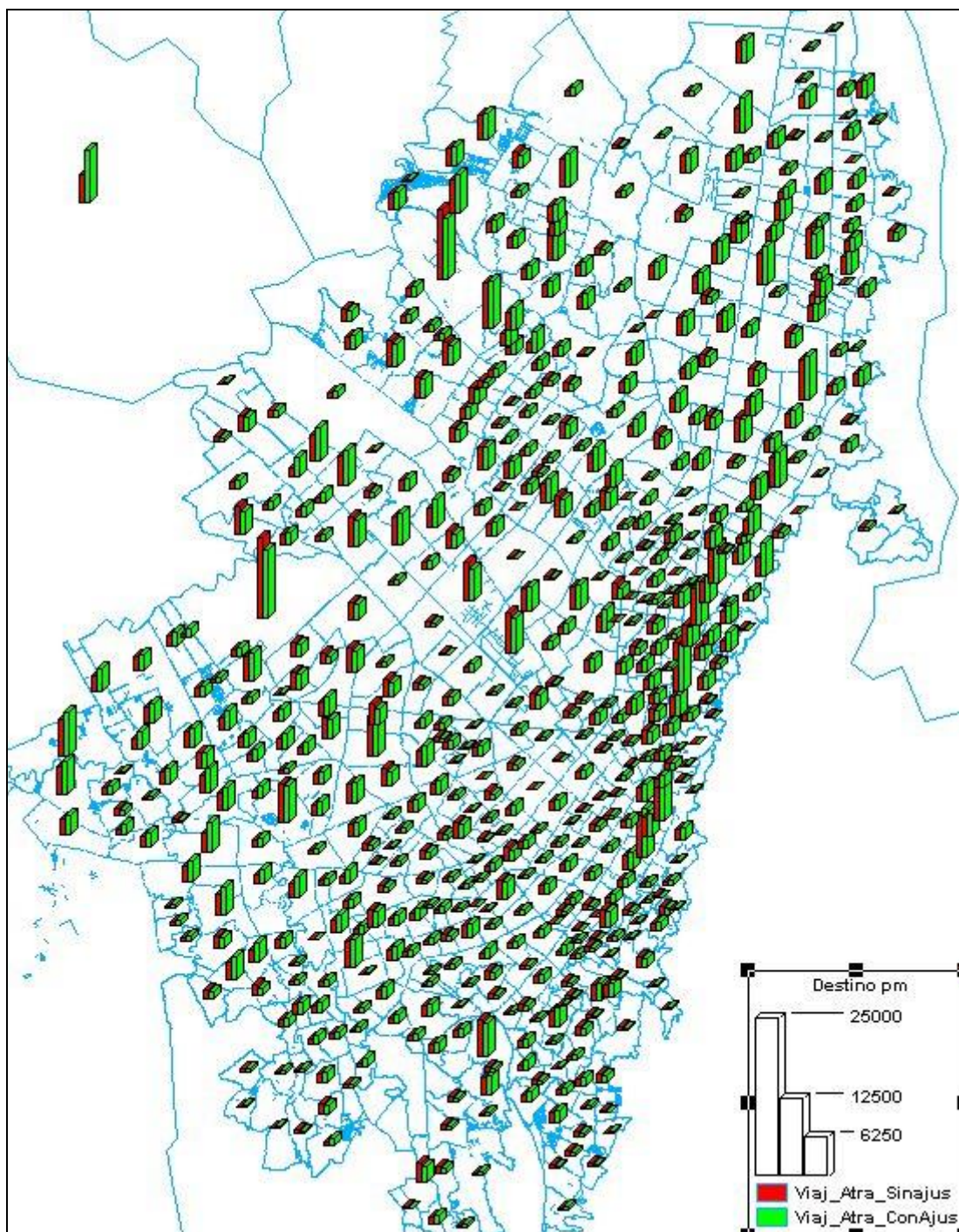
La Figura 60 representa las diferencias expresadas en valores absolutos para las situaciones con ajuste y sin ajuste tanto en el origen como en el destino de los viajes. En la misma forma que para el análisis de zonas domiciliarias los mayores ajustes se presentan en zonas que generan o atraen volúmenes bajos de viajes, lo cual garantiza que no se afecta en forma sustancial la estructura de la encuesta original.

Figura 58 Origen de Viajes con y sin ajuste. Periodo pico AM



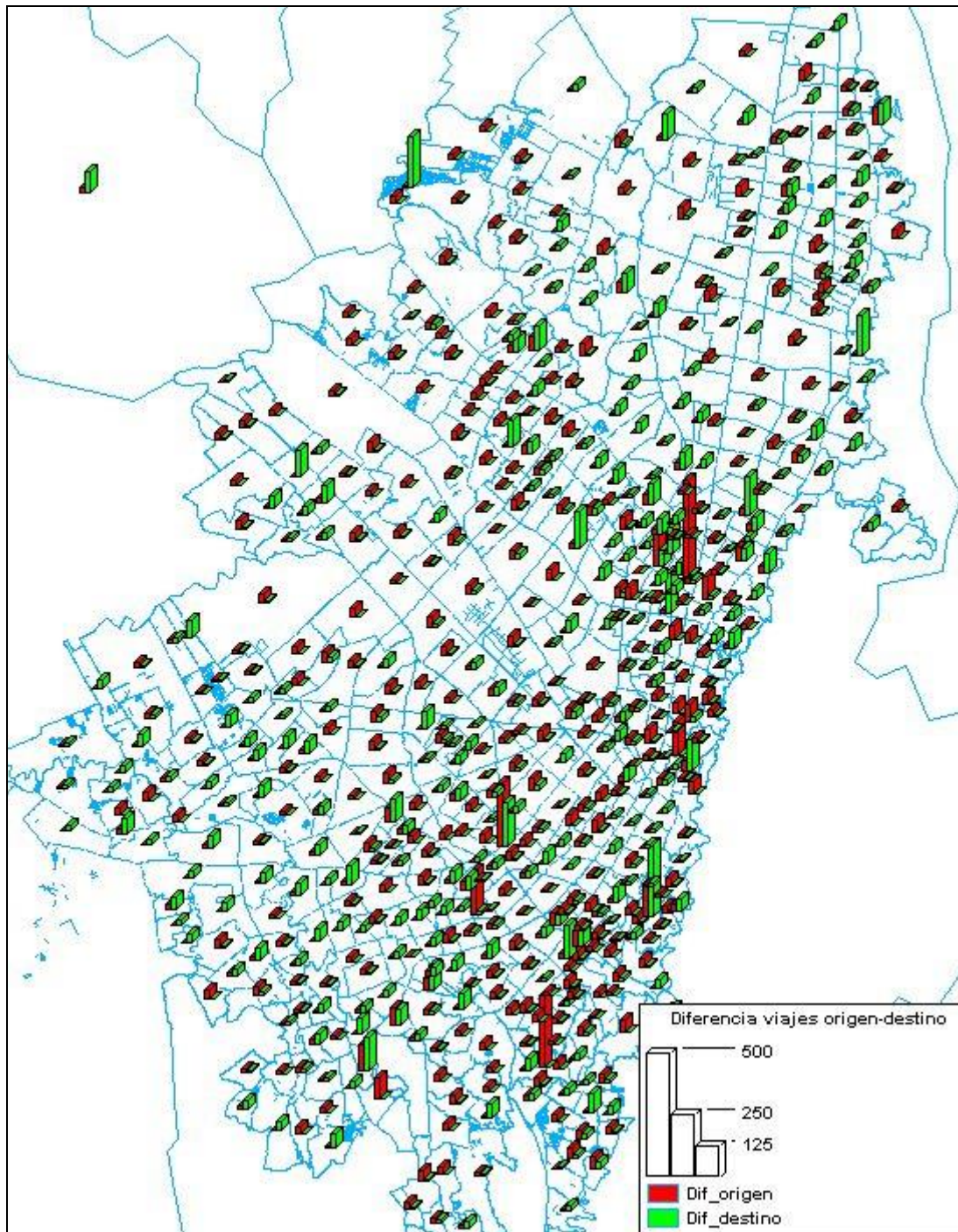
Fuente: Elaboración propia.

Figura 59 Destino de Viajes con y sin ajuste. Periodo pico PM



Fuente: Elaboración propia.

Figura 60 Diferencias absolutas en viajes origen -destino con y sin ajuste. Periodo pico AM y PM.



Fuente: Elaboración propia.

6. CALIBRACIÓN DE LAS MATRICES DE VIAJES EN LA RED

6.1 EXTRACCIÓN DE MATRICES A PARTIR DE LA ENCUESTA

Los diferentes períodos horarios fueron extraídos de la encuesta considerando el volumen máximo de viajes motorizados (público y privado) en un periodo de una hora. Son considerados los viajes que están iniciados dentro del período y los viajes que atraviesan cada período.

La hora pico mañana máxima se encuentra de las 6.15 a las 7.15 y de las 17.15 a las 18.15 en la tarde como se observa en la Figura 57.

Los valores resultantes de las matrices para el pico mañana son de 586,652 viajes para público y 176,333 para privado.

Para obtener una mejor distribución de viajes y considerar más pares origen-destino, los viajes están seleccionados dentro de un período de 3 horas y ajustados por el valor máximo de cada período.

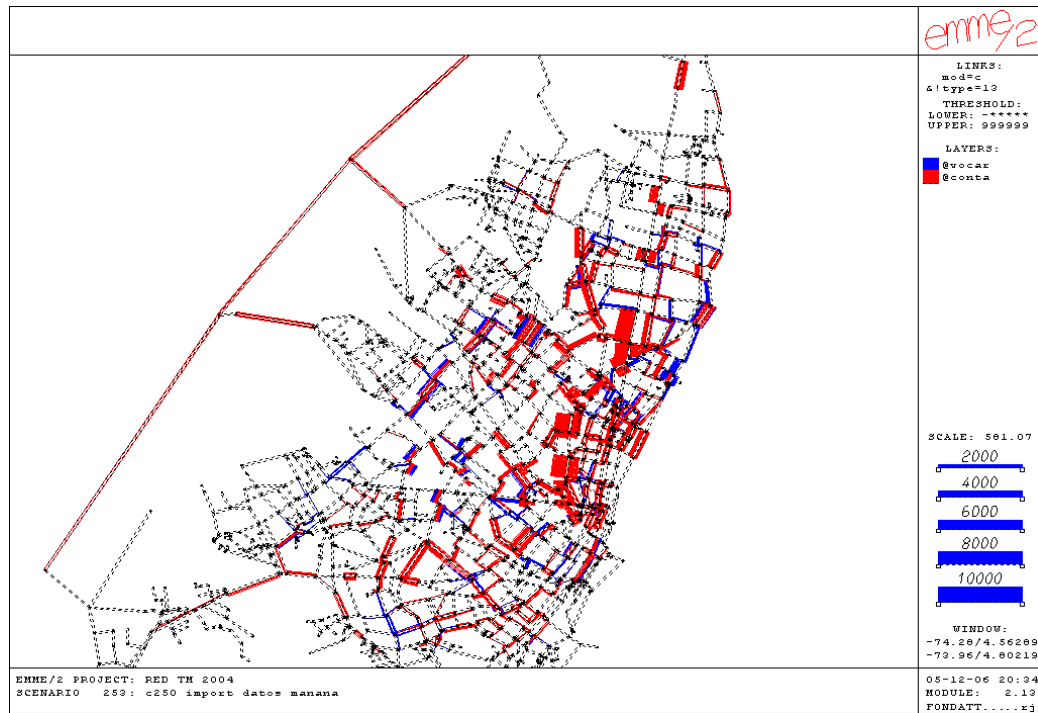
6.2 ASIGNACIÓN DE LAS MATRICES EN LA RED

La asignación de las matrices extraídas de la encuesta son comparadas con los aforos volumétricos de la hora pico.

6.2.1 Consideraciones sobre la base de datos de aforos actualización 2005

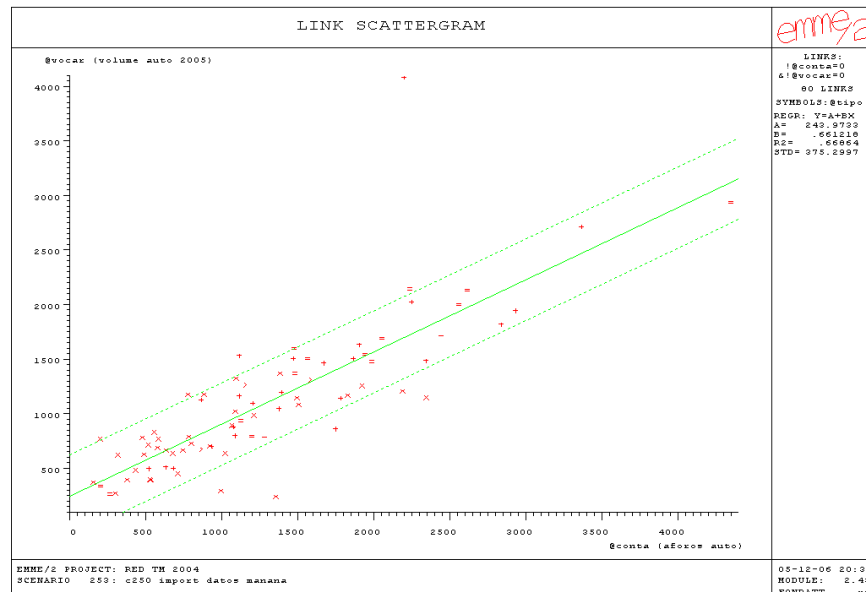
Para el transporte privado, la base necesita ser complementada con un mayor número de aforos. Importantes vías arteriales están faltando, un control de ubicación y de valores adoptados es necesario. Una comparación con la base de aforos de 2003 usada para la calibración de red muestra diferencias significativas

Figura 61 Comparación aforos transporte privado 2003 (rojo) y 2005 (azul)



Fuente: Elaboración propia.

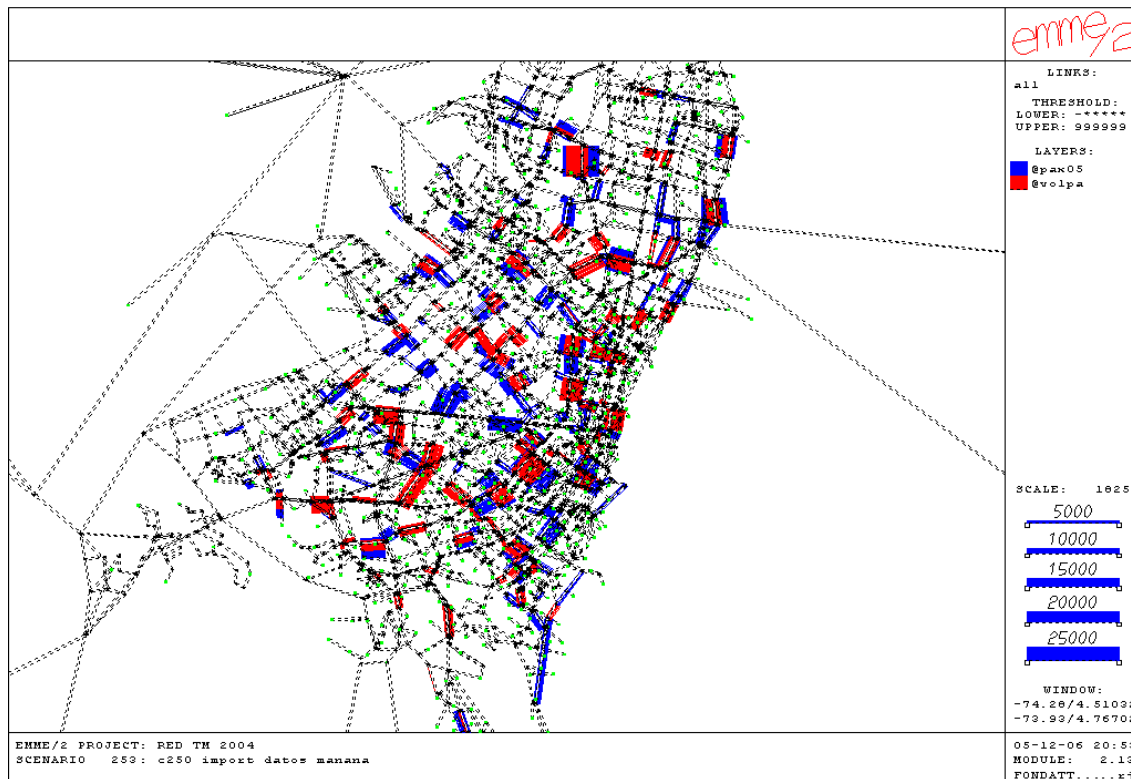
Figura 62 Comparación entre los puntos de misma ubicación entre los dos años



Fuente: Elaboración propia.

Existe correlación desconsiderando algunos outsiders visiblemente con error. Globalmente la comparación muestra que los volúmenes están mas bajos en el 2005 comparados con los del año 2003, lo cual es necesario confirmar y verificar.

Figura 63 Comparación aforos transporte público 2003 (rojo) y 2005 (azul)



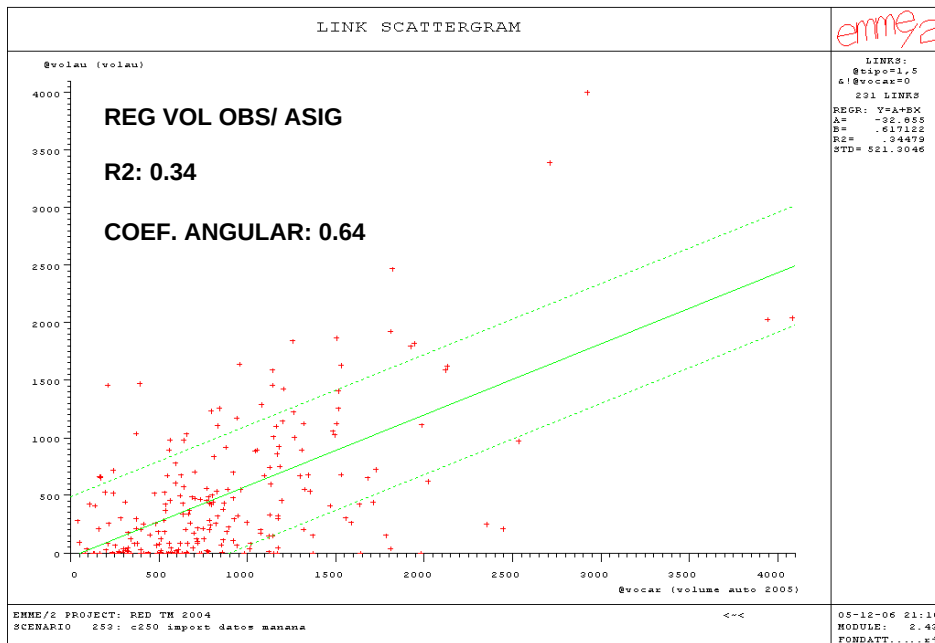
Fuente: Elaboración propia.

Para el transporte público, inversiones de sentido de codificación fueron corregidas, globalmente la base fue incrementada en relación a 2003.

6.2.2 Asignación del Transporte privado

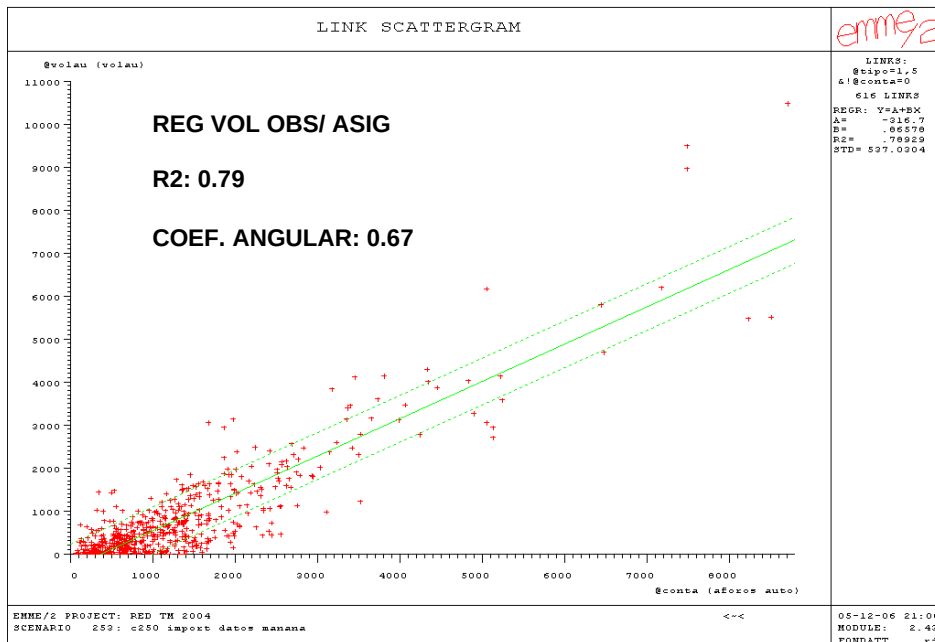
La asignación directa de la matriz OD pico mañana confrontada con los aforos es presentada a continuación.

Figura 64 Con los aforos 2005



Fuente: Elaboración propia.

Figura 65 Con los aforos 2003

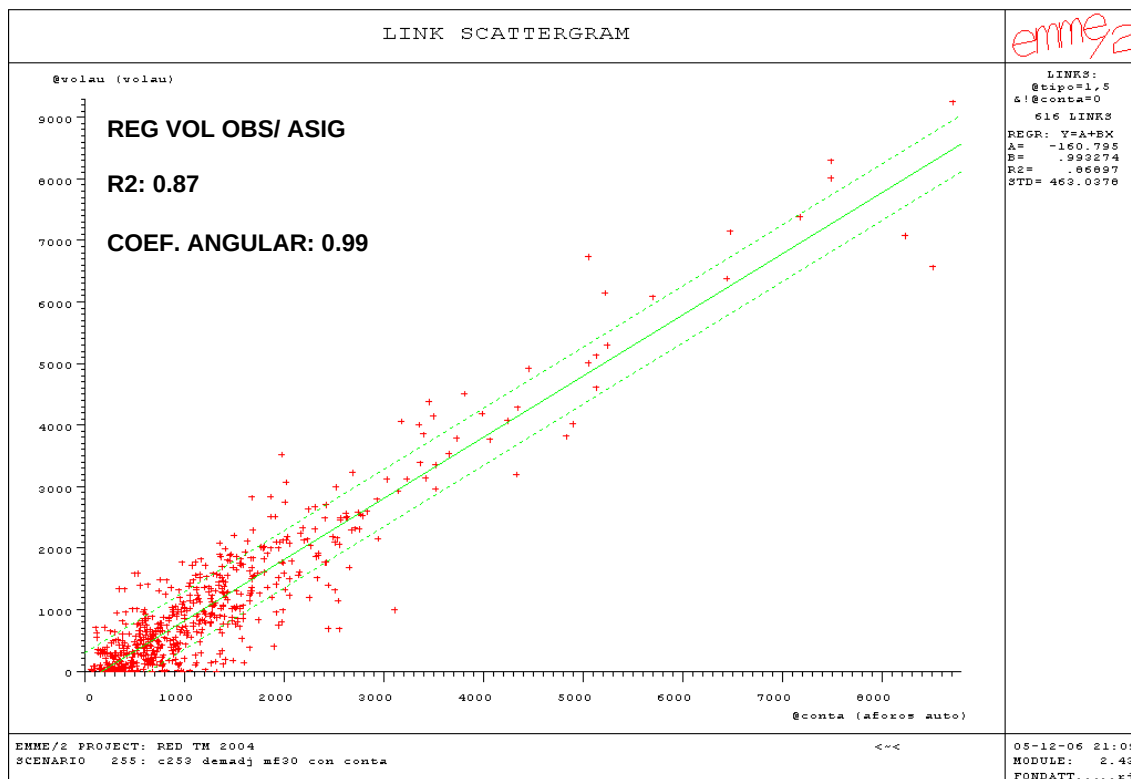


Fuente: Elaboración propia.

Se comparó la misma asignación con los dos bancos de aforos, que muestra la necesidad de una revisión general.

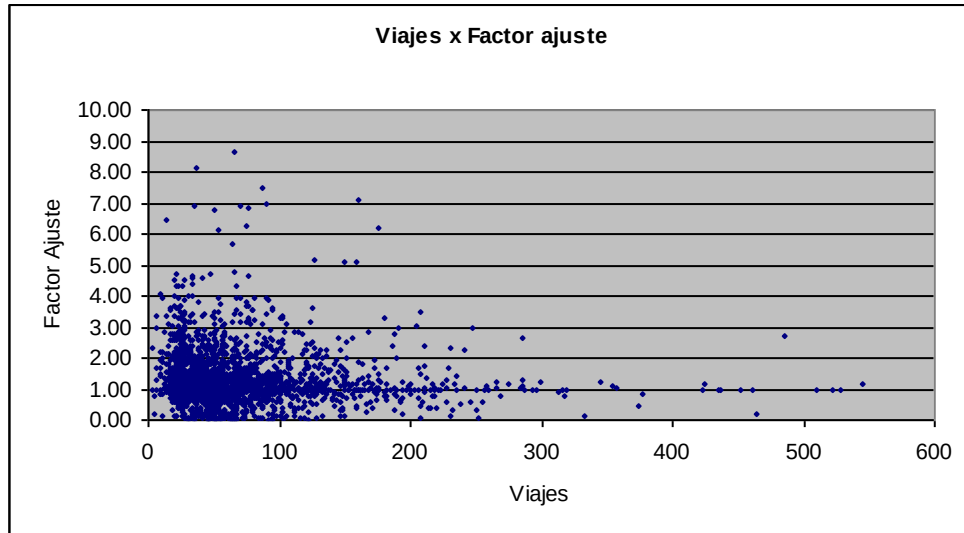
El ajuste con los aforos 2003 muestra que si se puede llegar a una regresión satisfactoria, los factores de ajuste por par origen-destino son extremadamente altos (o bajos).

Figura 66 Ajuste por aforos



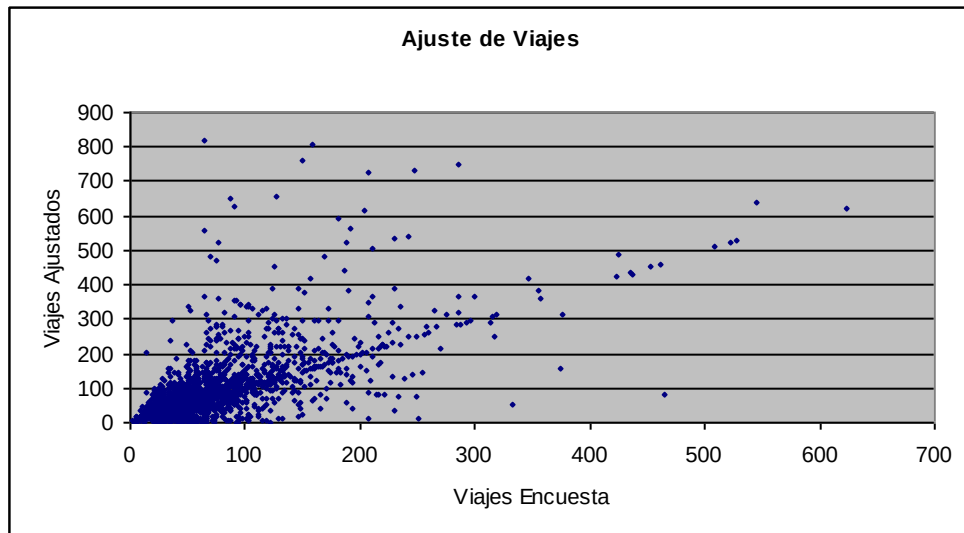
Fuente: Elaboración propia.

Figura 67 Distribución de los factores de ajuste por viaje



Fuente: Elaboración propia.

Figura 68 Aplicación del ajuste

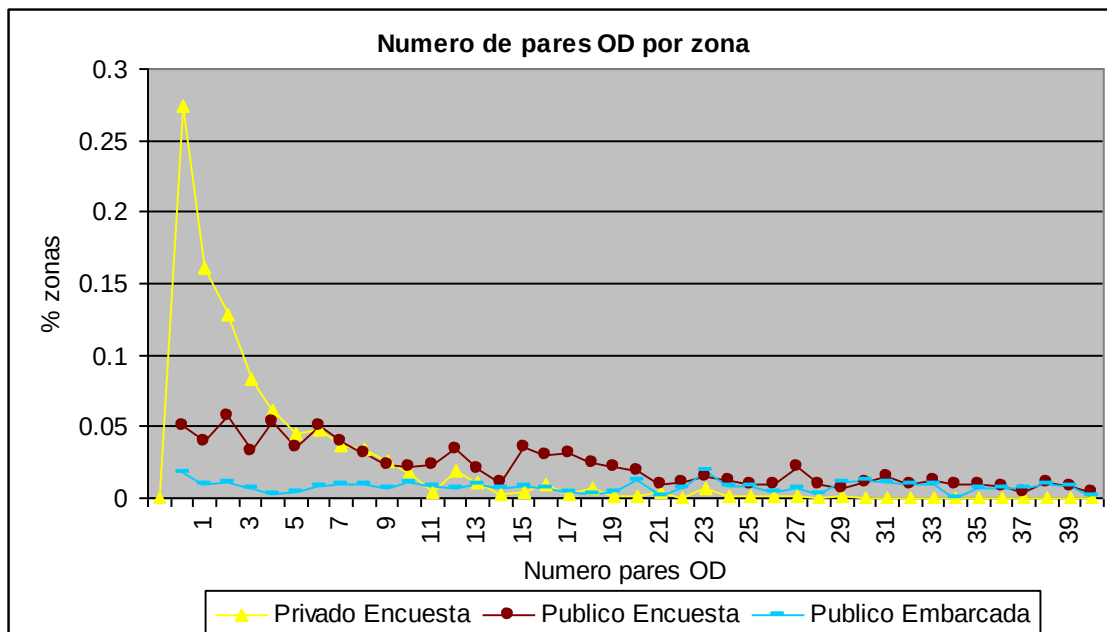


Fuente: Elaboración propia.

Esos resultados muestran que si bien es posible ajustar los viajes basados en aforos y obtener correlación, no sería válido en términos de factores de ajuste para la encuesta domiciliaria, teniendo gran repercusión en términos de generación de viajes por zona, y reparto modal.

Estos resultados se deben a la distribución de viajes encuestados. La matriz extraída de la encuesta presenta una estructura de distribución extremadamente pobre, donde los viajes están concentrados en muy pocos pares OD.

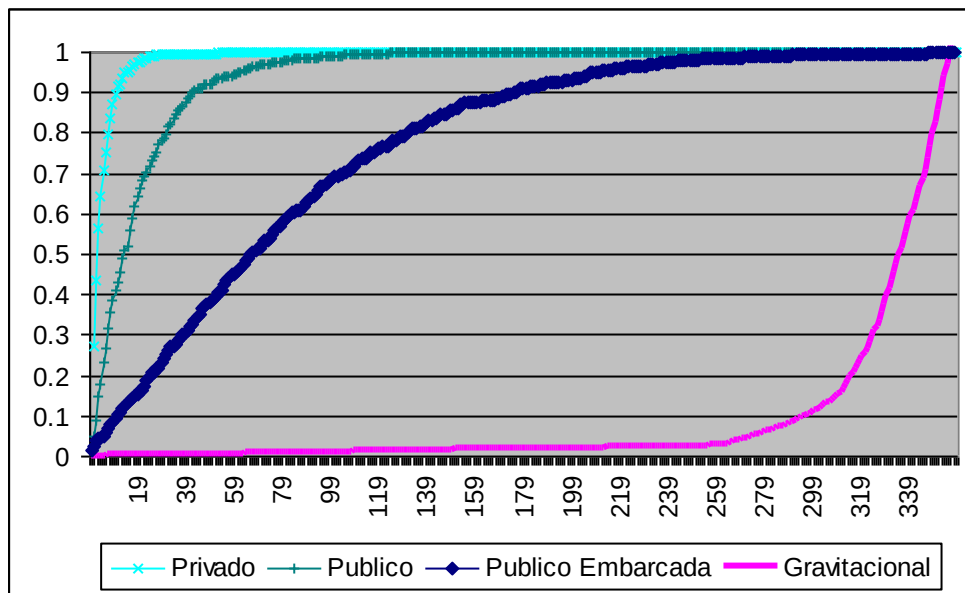
Figura 69 Comparación de distribución de matriz



Fuente: Elaboración propia.

En la matriz de transporte privado, 27% de las zonas no tienen OD, contra 5% para el público, y 2% para la encuesta embarcada de 2002. El número promedio de pares OD por zonas es de 4 para el privado, 19 para el público, contra 82 para la matriz obtenida por encuesta OD realizada en el año 2002. En las matrices, la proporción de celdas con viajes es de 0.6% para el privado, 3% para el público, contra 13% en la encuesta del año 2002, incluyendo el intrazonal.

Figura 70 Distribución de viajes acumulados



Fuente: Elaboración propia.

En la distribución acumulada, 50% de las zonas producen 2 pares OD o menos para el privado, solo 10% de las zonas producen más de 9 pares OD. Para la matriz de transporte público, 50% de las zonas producen entre 0 y 12 pares OD, y 10% de las zonas producen más que 42 pares OD. Para la encuesta embarcada, entre 0 y 66 pares OD son producidas por 50% de las zonas, y 10% de zonas producen más que 173 pares OD. A título de comparación, una distribución obtenida por modelo gravitacional representaría teóricamente el inverso de la distribución observada para el transporte público en la encuesta domiciliaria.

Esas revisiones explican la amplitud de los factores de ajuste obtenidos por confrontación con los aforos vehiculares. Como la distribución es extremadamente concentrada, el número de pares OD cruzando un punto de aforo es limitado, consecuentemente el diferencial entre los volúmenes observados y asignados es repartido entre pocos pares OD, y los factores resultan muy altos. En la realidad, los viajes son mucho más distribuidos, y un ajuste global de un tramo de vía debería ser distribuido por un número importante de pares OD, e influir menos en la producción y atracción de las zonas.

A partir de este momento, la retroalimentación de los factores de ajuste por viaje a la encuesta domiciliaria afectaría en forma sustancial su estructura. Así mismo aunque el volumen de viajes es globalmente mantenido por período y si los totales son compatibles, los factores tienen como efecto la distorsión tanto de la generación como del reparto modal por zona, sin guardar relación con población ni estratos, perdiéndose los ajustes previos realizados. Estos últimos pueden variar después de

un ajuste por red, los resultados obtenidos en términos globales apuntan a un desequilibrio en el reparto modal, el transporte privado aparece subestimado globalmente en la encuesta, lo que repercute proporcionalmente en la generación.

El ajuste de viajes de transporte privado con aforos en la hora pico mañana alcanzó globalmente un factor de 1.4, pero es difícil estimar el impacto de la distribución sobre la obtención de este valor.

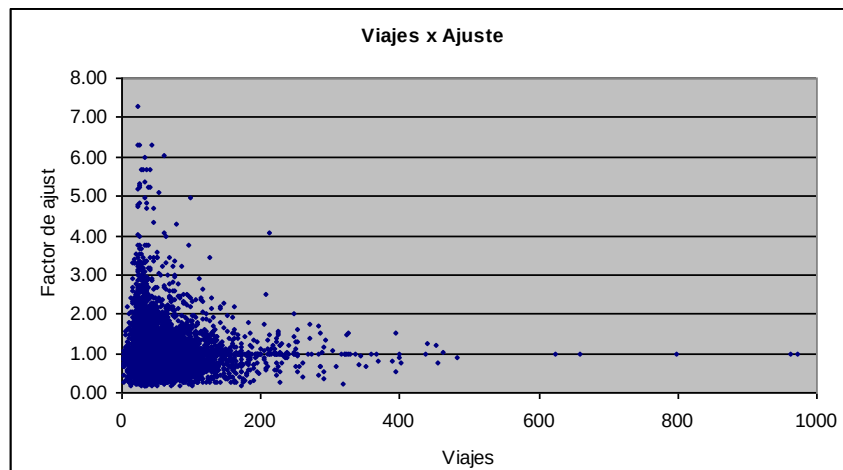
Globalmente se verifica que los viajes de transporte privado están subestimados, la falta de distribución sería una consecuencia, ciertamente corroborado por el factor de expansión promedio de los dos modos, 120 para privado y 112 para público, que indicaría una representatividad inferior para los modos privados, o los estratos más altos. Puede tener también otras explicaciones, como problemas de codificación, por ejemplo, si una intersección de calle es un punto común a 4 zonas, los viajes fueron sistemáticamente asignados a una de ellas.

Para los viajes de transporte público, la distribución es menos mala. Los análisis se dificultan por el hecho de que el proceso de calibración de transporte público interviene después del privado, por el método propio de la modelación multimodal descrito anteriormente. Si el transporte privado no se calibra adecuadamente, los errores repercuten sobre el transporte público.

A pesar de la incógnita relativa a estos impactos, los ajustes realizados para el transporte público muestran una mejor respuesta que para el transporte privado, lógicamente por tener viajes mas distribuidos.

Se espera que se pudiera llegar a un ajuste aceptable después de una calibración de transporte privado.

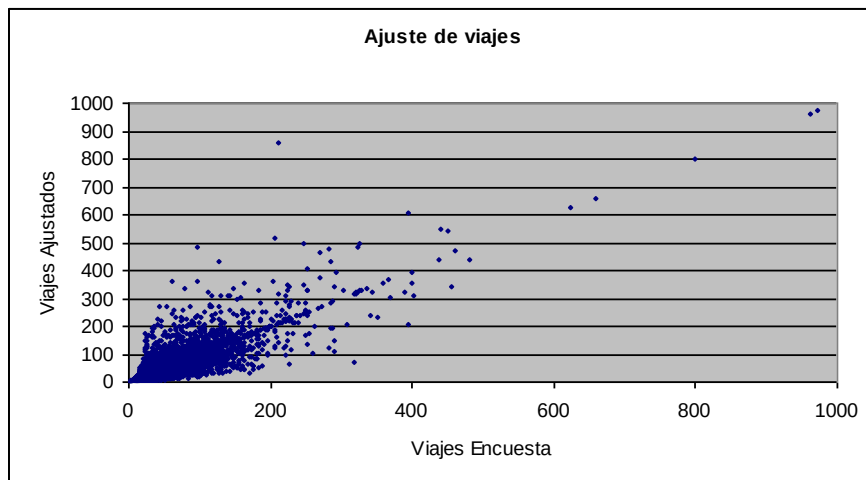
Figura 71 Distribución de los factores de ajuste por viaje – Transporte Publico



Fuente: Elaboración propia.

La distribución es globalmente bien equilibrada, con los factores altos para los volúmenes de viajes bajos, y se podría ciertamente mejorar con una base de transporte privado bien calibrada.

Figura 72 Aplicación del ajuste



Fuente: Elaboración propia.

Estas consideraciones llevan otra cuestión sobre la calidad global de la modelación. En las condiciones actuales, la sustitución de las matrices de viajes existentes por las matrices extraídas de la encuesta representa un retroceso considerable para la calidad del banco de datos.

Se sabe que la matriz preexistente de transporte privado contiene errores, principalmente en términos de tiempo de viaje, subestimado, debido a una predominancia de viajes cortos sobre los viajes más largos. Esa matriz fue obtenida por ajuste con aforos, a partir de una estructura desarrollada con el modelo Transus en el año 2001. Los volúmenes y las velocidades resultantes están razonables a pesar de los problemas identificados de estructura. Más la nueva matriz extraída directamente de la encuesta no permite resolver estas distorsiones.

Para el transporte público, la matriz existente, obtenida en 2002 por encuesta OD dentro de los buses, es una matriz de buena cualidad, bien conocida y calibrada en la STT, con distribución equilibrada, y ajuste de generación por zonas. La nueva matriz extraída de la encuesta, aunque parece posible llegar a un ajuste mejor, es de calidad nítidamente inferior.

En estas condiciones, una solución que parece viable sería calibrar modelos de distribución de viajes que permitirían mejorar los datos existentes.

La encuesta de movilidad contiene los datos necesarios para calibrar modelos gravitacionales de distribución. Se deben desarrollar modelos para cada modo, con

segmentación por estrato y/o motivo de viaje. Las características de la matriz de transporte público obtenida por encuesta embarcada son también de buena ayuda para verificar patrones de viajes, y podría incorporarse en la calibración del modelo de distribución.

Obviamente la aplicación de un modelo de distribución imposibilita una vuelta directa a la encuesta de movilidad, pero sería posible reajustar globalmente la encuesta al final del proceso en términos de generación, reparto modal y períodos horarios. Aunque aún no sería posible la extracción directa de matrices a partir de la encuesta.

La calibración de modelos de demanda representa un proceso arduo y demorado que no se encuadra en este trabajo. Para mitigar estos problemas, en los alcances de este trabajo, se ha optado por ajustar los factores de expansión de la encuesta con datos observados de red, y obtener matrices de viajes utilizables, se ha definido de acuerdo con la STT el uso de una zonificación agregada por Unidad de Planeamiento Zonal, que permite mejorar la estructura de las matrices de viajes, a pesar de representar una simplificación para la modelación, y consecuentemente un nivel de detalle inferior al existente.

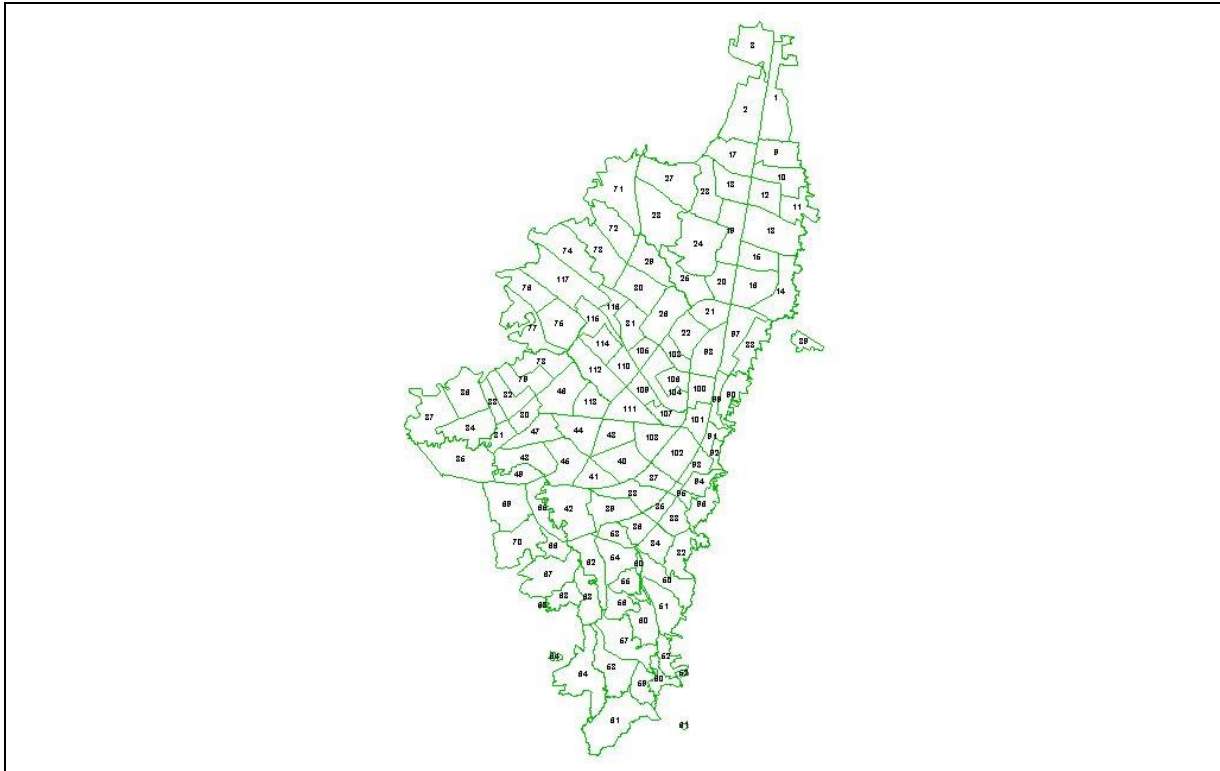
6.3 OBTENCION DE MATRIZES AGREGADAS POR UPZ

El objetivo de la agregación zonal es doble:

- Permitir la corrección final de los factores de expansión de la encuesta a partir de su confrontación con los datos observados en la red;
- Estimar matrices de viajes utilizables para el Plano Maestro de Movilidad, para evaluación de proyectos a nivel de planeación estratégica.

La zonificación por UPZ comporte 111 zonas internas a Bogotá, y 16 zonas para los demás municipios de la región metropolitana.

Figura 73 Zonificación por UPZ

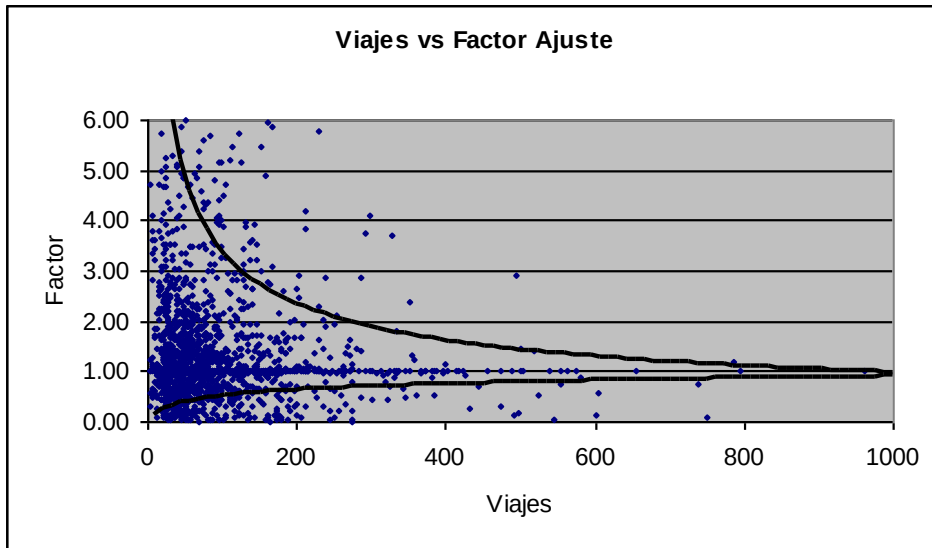


La zonificación actual de 641 zonas de tráfico del modelo de transporte fue substituida por la zonificación en UPZ.

6.3.1 Calibración del Transporte privado

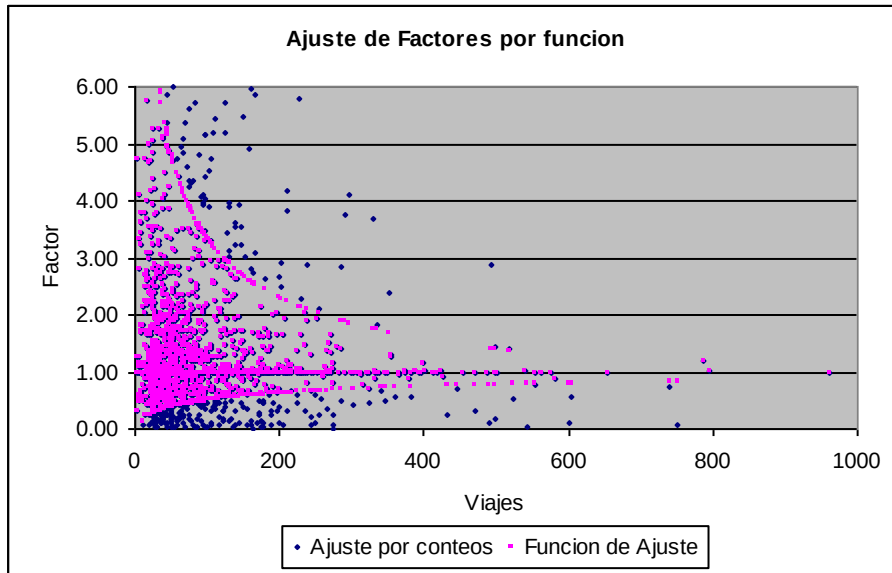
La matriz de viajes de la hora pico mañana extraída inicialmente de la encuesta, después de los ajustes de generación, reparto modal y distribución horaria, totaliza 176,333 viajes. La calibración de la red se realiza a dos niveles, con los aforos volumétricos de vehículos y con las velocidades observadas. Se consideraron solamente los conteos en el sistema vial principal, autopistas, arteriales 1 y 2, por el hecho de que las vías de menos jerarquía están más afectadas por el aumento del tamaño de las zonas, lo que imposibilita una calibración adecuada. Se presentan a continuación los resultados del ajuste por los conteos vehiculares.

Figura 74 Factores de ajuste por pares OD



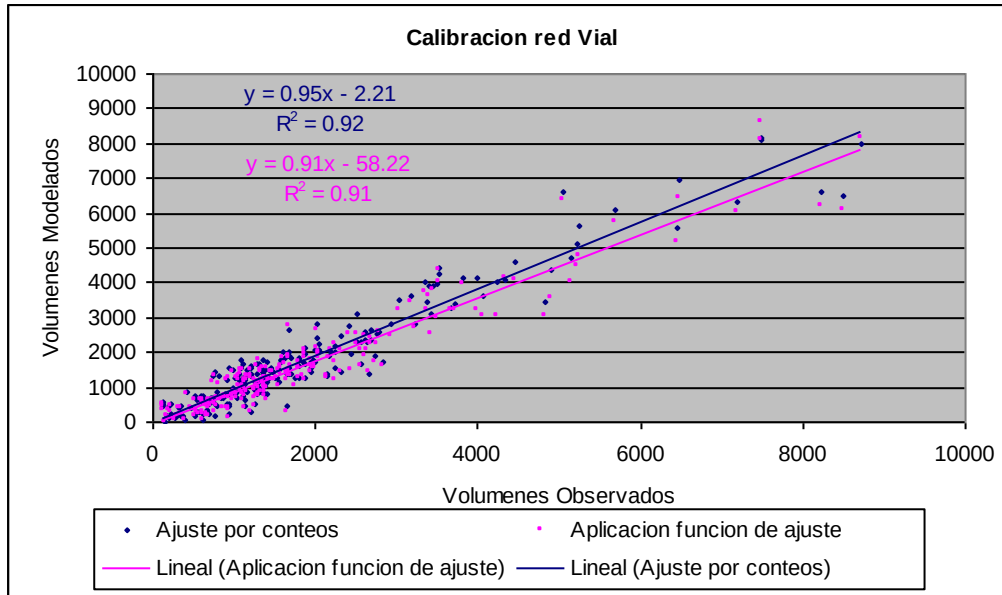
La dispersión de los factores de ajustes obtenidos de la confrontación con los aforos necesita ser corregida para impedir valores incompatibles en términos de generación para la aplicación a la encuesta. Dos funciones fueron aplicadas, una función logarítmica para los valores de ajuste inferiores a 1, y una función potencial para valores superiores a 1. Las funciones están ajustadas para mantener globalmente el total de viajes.

Figura 75 Factores de ajuste por pares OD



El beneficio de utilizar funciones de ajuste adicionales al ajuste directo por red es de poder regular los outsiders sin influir demasiado en la calibración de la red, como se ilustra a continuación.

Figura 76 Calibración de la red por aforos vehiculares

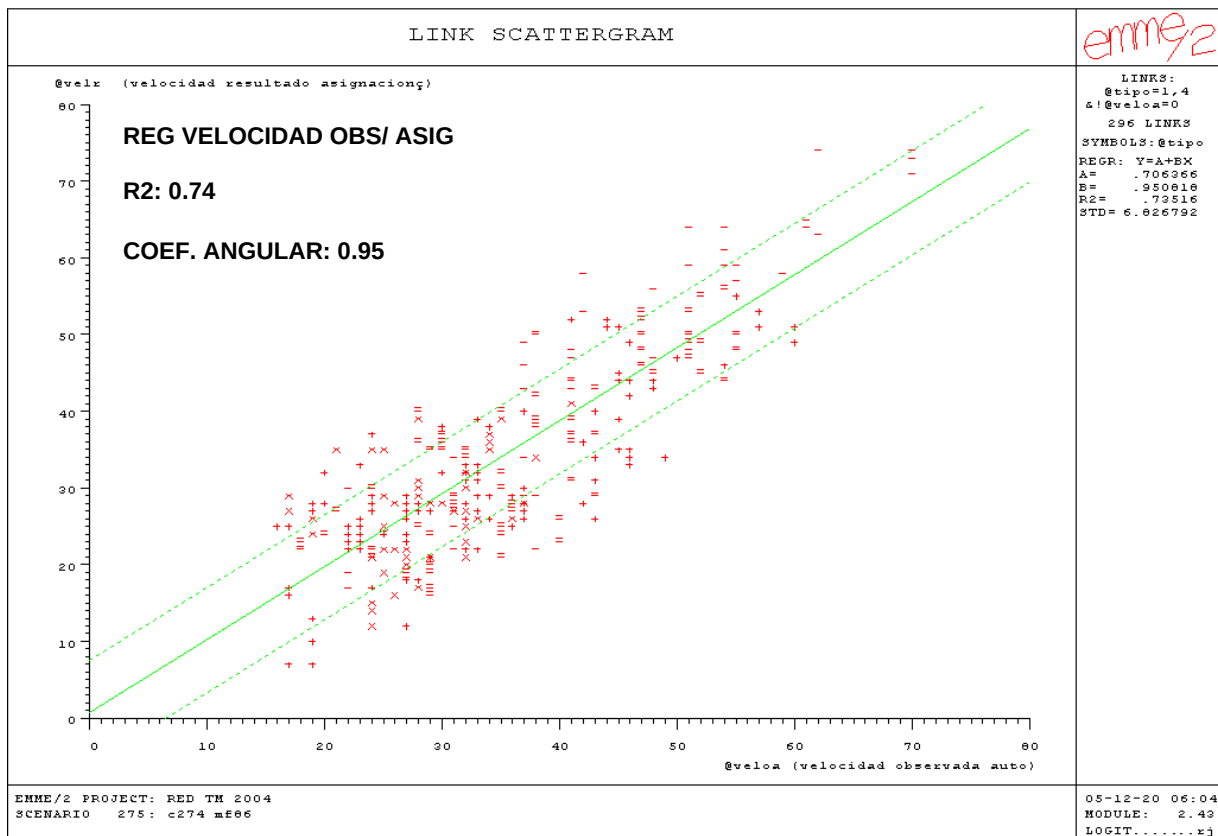


La aplicación de funciones de ajuste para la calibración de los volúmenes vehiculares se traduce por una ligera baja del coeficiente angular de regresión de 0.95 a 0.91, perfectamente aceptable para preservar la integridad de la base de datos de la encuesta.

6.3.2 Calibración de velocidades en la red vial

Los ajustes realizados tienden al mismo tiempo a reproducir los volúmenes vehiculares observados y las velocidades observadas en la red.

Figura 77 Calibración de velocidad en la red



Las regresiones entre velocidades observadas y modeladas en red no presentan la misma precisión que las regresiones entre volúmenes. Las velocidades observadas son velocidades promedias por tramos que corresponden a varios links en la red matemática, con interferencias de intersecciones, o de ligaciones de centroides, lo que resulta para cada link en un valor de velocidad asignada específico y no promedio por tramo. Por esto la calibración presentada contiene puntos fuera de la

regresión, pero globalmente se considera esta calibración como perfectamente aceptable.

Después de ajustada, la matriz de viajes de transporte privado para la hora pico mañana totaliza cerca de 220.000 viajes. En el estudio realizado en 2002, el total de viajes representaba aproximadamente 260.000 viajes. Esta diferencia puede explicarse por la extensión del periodo de aplicación del pico y placa de dos a tres horas, correspondiente a las tres horas seleccionadas para la extracción de la matriz. Esta diferencia parece compatible con los efectos esperados de los desplazamientos de horarios de viaje derivados de la extensión del periodo de restricción.

6.3.3 Calibración del Transporte publico

La calibración del transporte público se realizó según los mismos procedimientos que para el privado. La matriz de viajes de la hora pico mañana extraída inicialmente de la encuesta, después de los ajustes de generación, reparto modal y distribución horaria, totaliza 586.627 viajes.

Figura 78 Factores de ajuste por pares OD

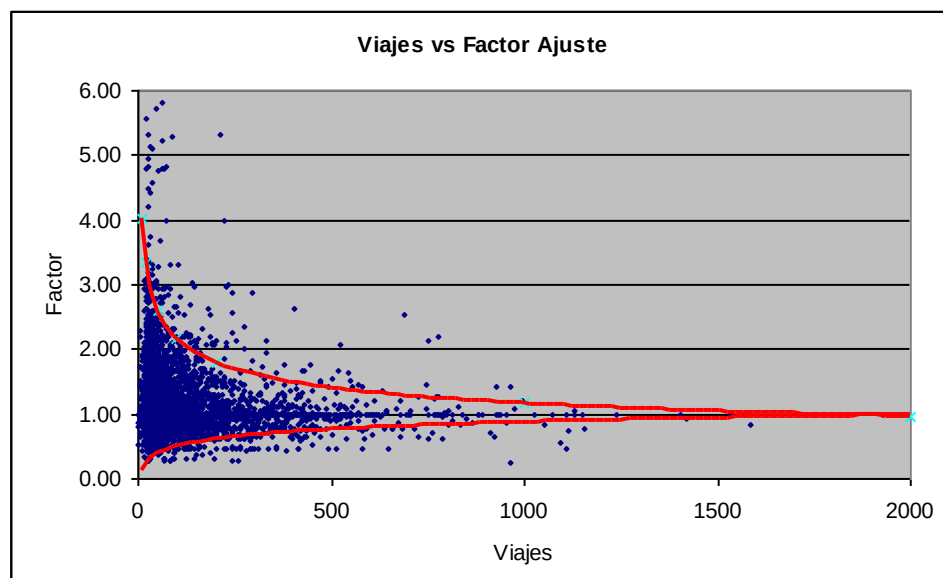


Figura 79 Factores de ajuste por pares OD

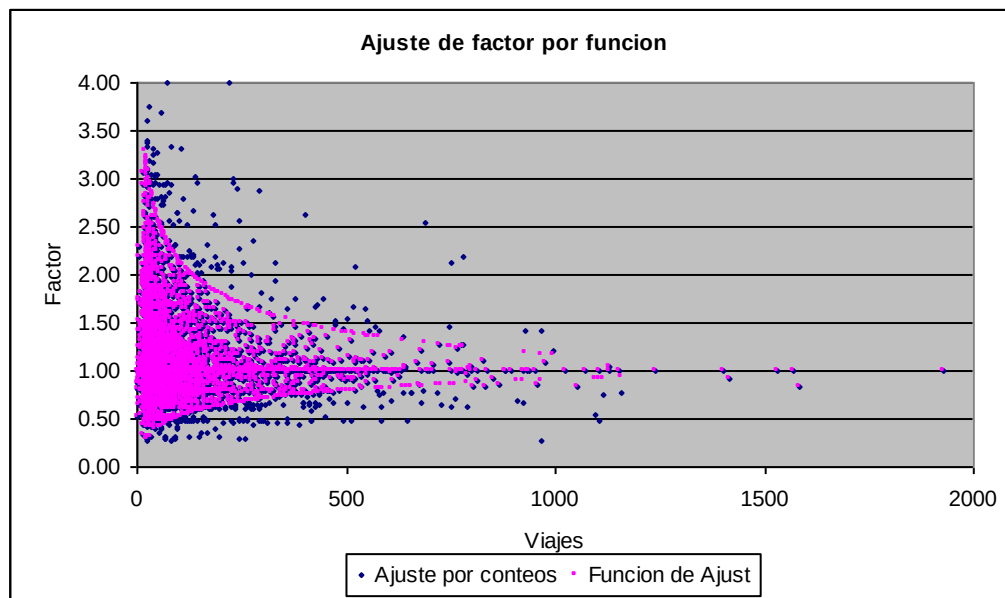


Figura 80 Calibración de la red por aforos de pasajeros

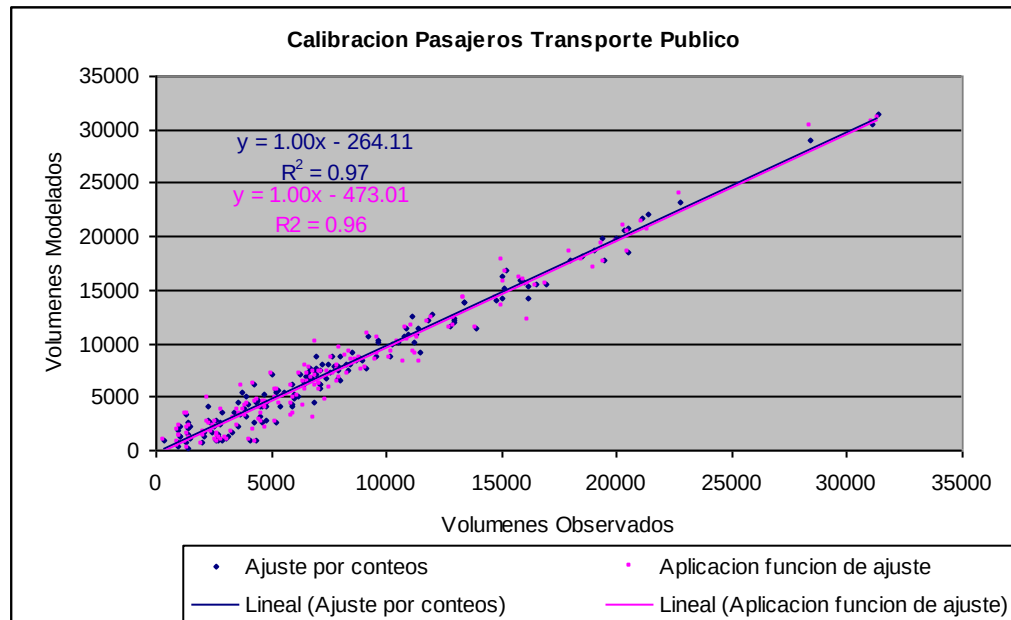
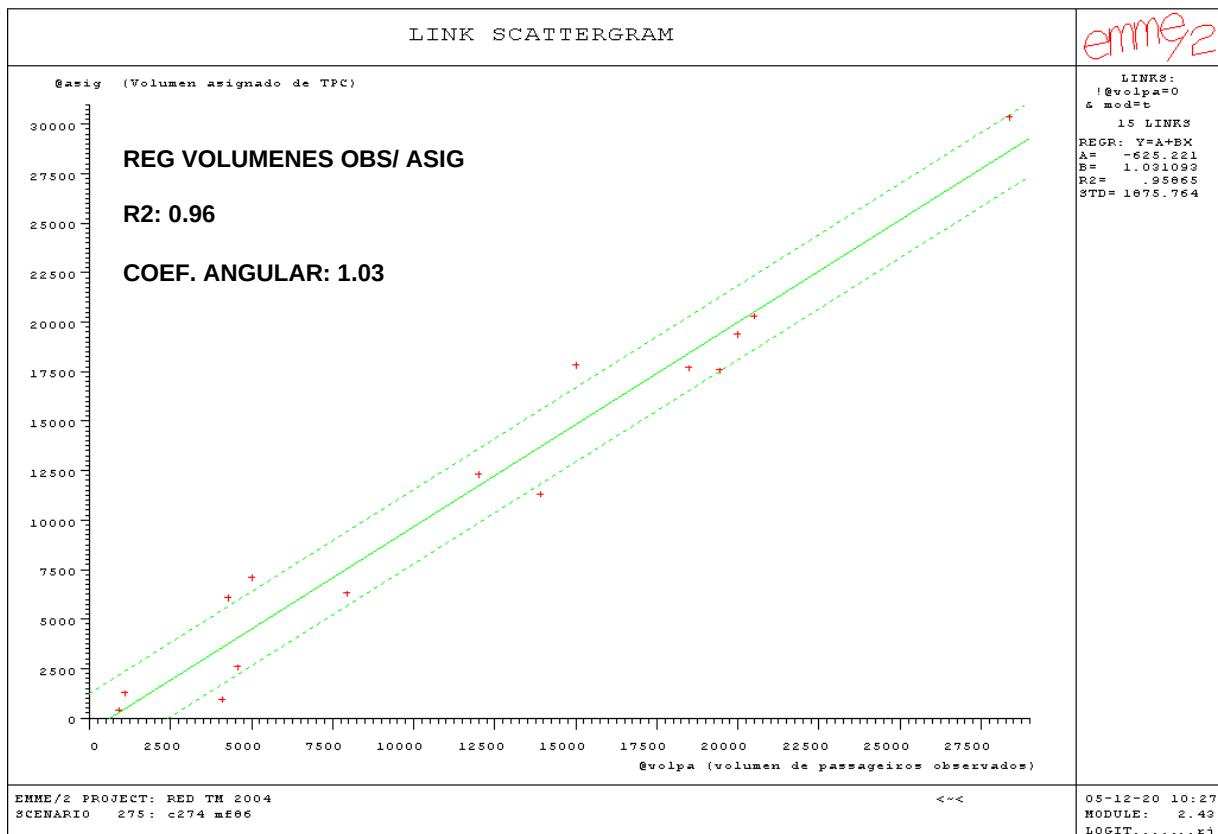


Figura 81 Calibración de pasajeros de Transmilenio

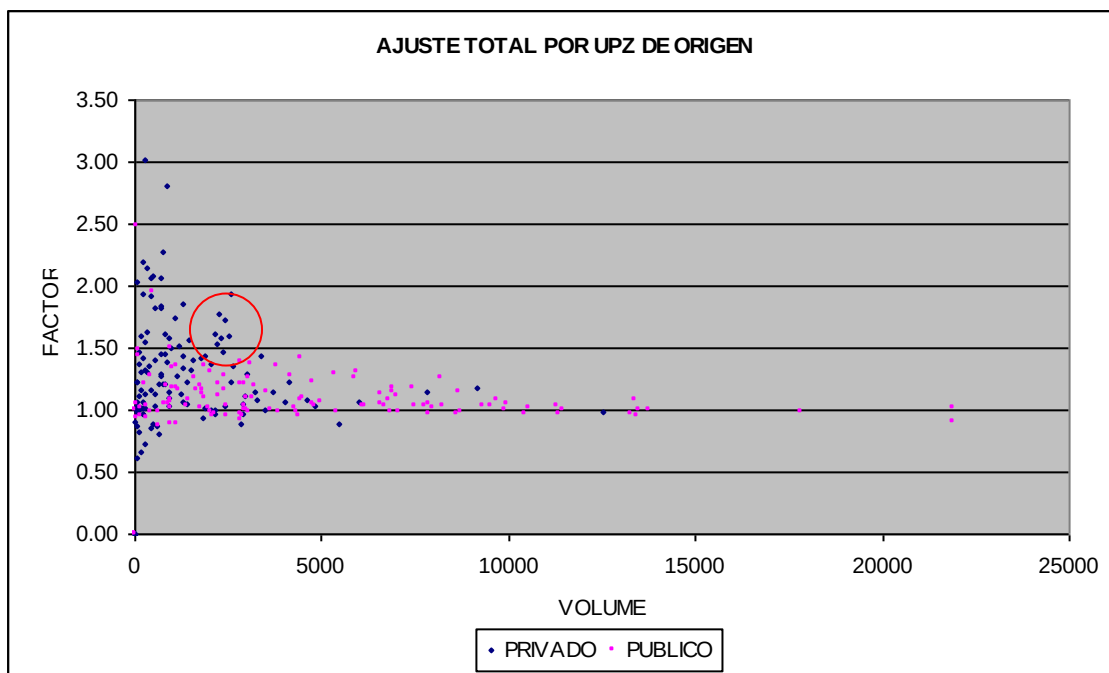


El total de pasajeros embarcando en Transmilenio es de 121.400 incluyendo los trasbordos internos. Según los datos observados de taquillas y la tasa de trasbordo proveniente de la encuesta (25%), el volumen de pasajeros esta ligeramente subestimado, los valores reales están cercanos a los 125000 pasajeros en la hora pico.

El total de la matriz de viajes de transporte público para la hora pico mañana se ajustó para un valor cercano a los 620.000 viajes. La matriz estimada en 2002 contaba 568.000 viajes hora pico.

En términos de totales de producción y atracción por UPZ, los ajustes de red son consistentes.

Figura 82 Factores de Ajustes Totales por UPZ de Origen



Para el transporte publico, los factores se distribuyen entre 0.8 y 2. Para el transporte privado, entre 0.6 y 3. Se tienen UPZ produciendo entre 2000 y 3000 viajes hora pico que son ajustadas con factores inclusos entre 1.5 y 2, efecto de la subestimación de los viajes de automóvil. Estas UPZ están concentradas básicamente en el sector sur-occidente de la ciudad, Venecia, Ciudad Montes, San Rafael, Américas, donde los

aforos vehiculares apuntan un volumen de viajes incompatible con las producción de estas zonas, que puede explicarse por una proporción de estratos 3 y 4 más grande en la realidad de que los identificados a partir de la encuesta.

Globalmente, los factores de ajuste están coherentes, así como el factor de ajuste promedio absoluto ponderado.

Figura 83 Producción Viajes Privado por UPZ antes y después de los ajustes de red

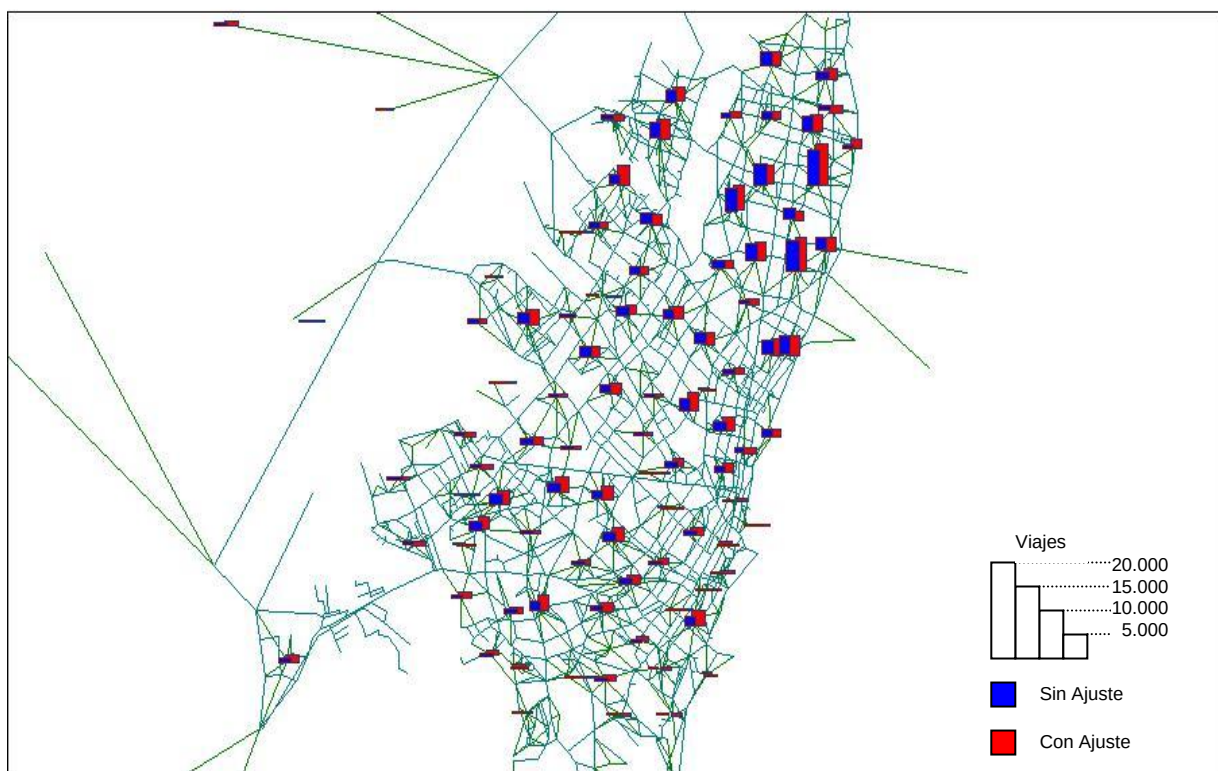


Figura 84 Atracción Viajes Privado por UPZ antes y después de los ajustes de red

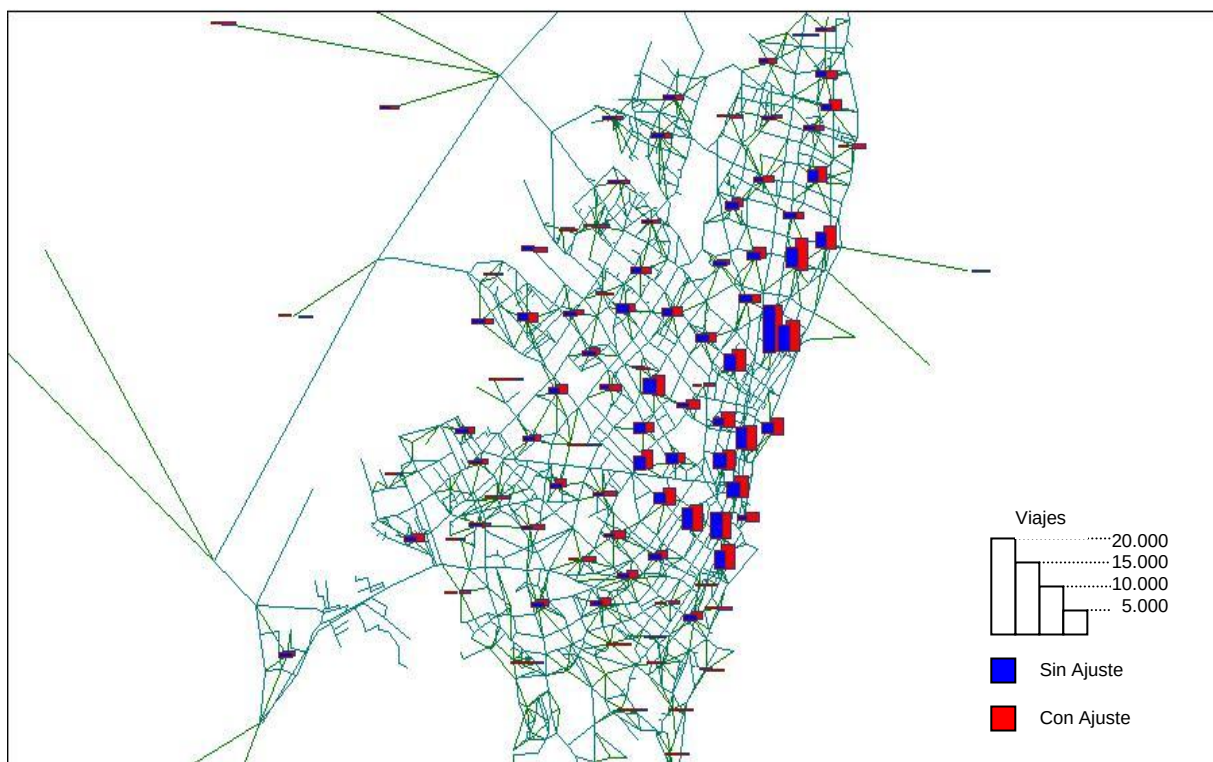


Figura 85 Producción Viajes Publico por UPZ antes y después de los ajustes de red

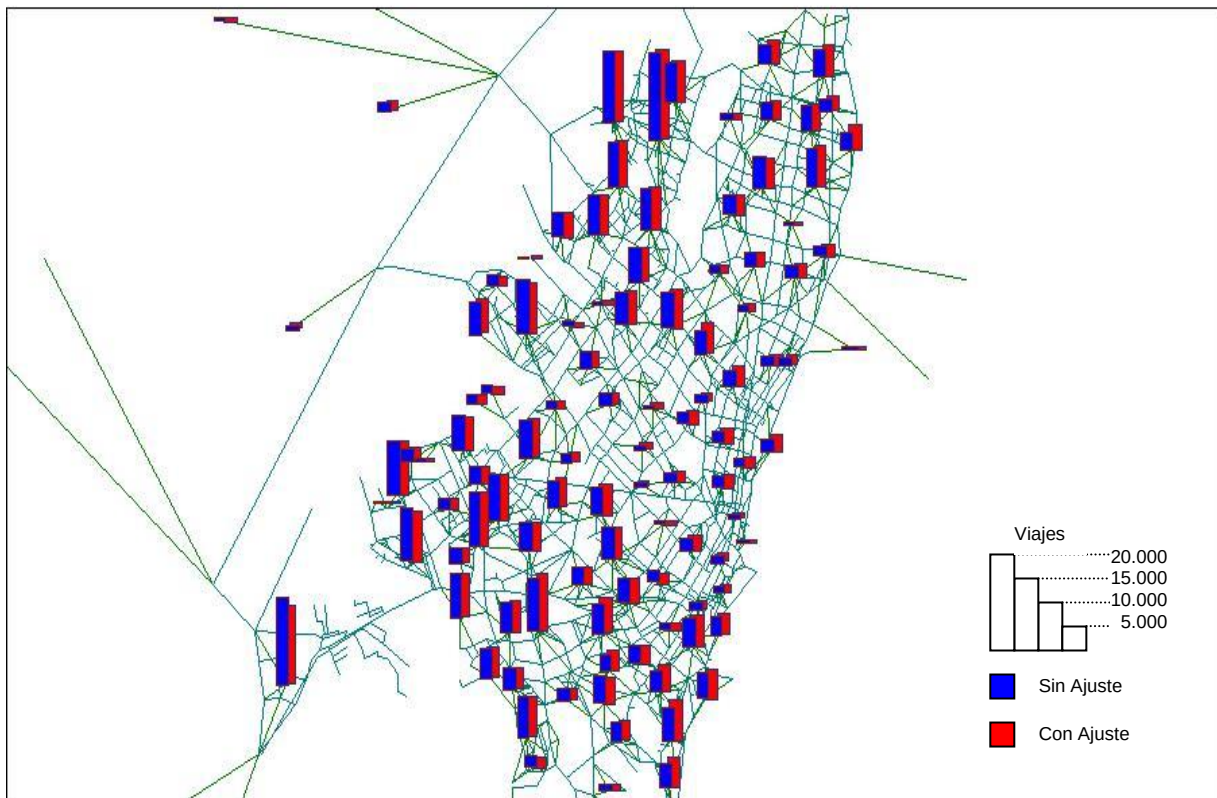
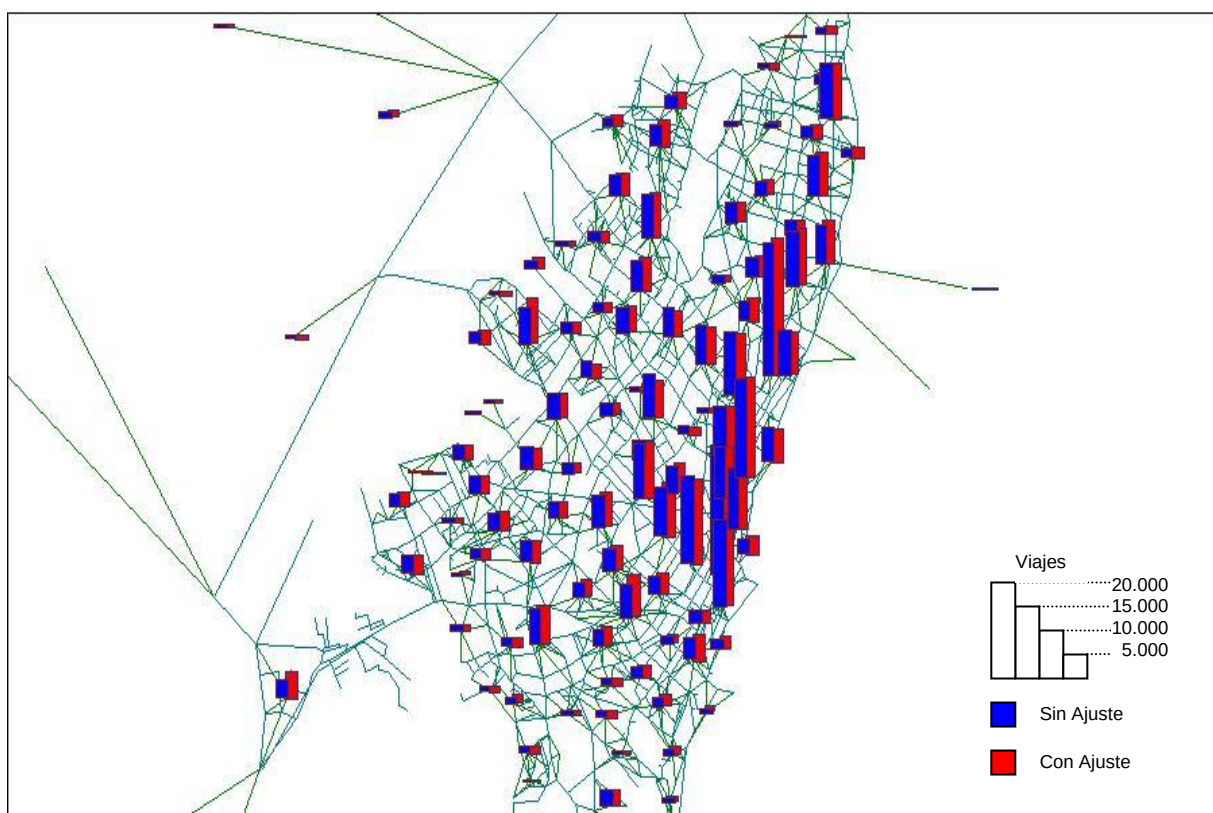


Figura 86 Atracción Viajes Publico por UPZ antes y después de los ajustes de red

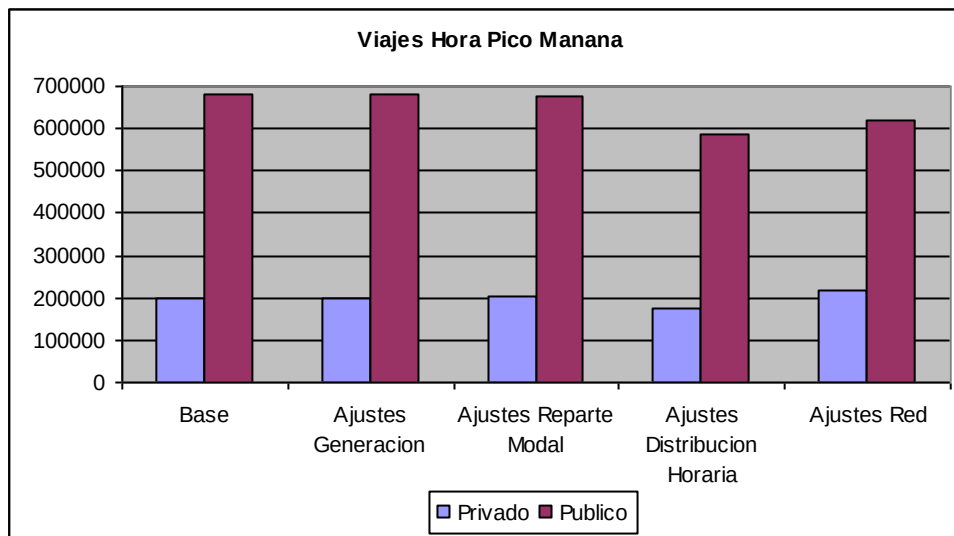


6.4 EFECTO GENERAL DE LA SECUENCIA DE AJUSTES

Para las matrices de viajes del pico mañana, los diferentes ajustes se caracterizan por:

- Los ajustes de generación tienen como función de reequilibrar las producciones de las zonas pero no alteran el volumen total de viajes.
- Los ajustes de reparto modal de la misma manera no alteran el volumen total, pero equilibran las producciones por modo por zona, con una influencia pequeña en el reparto modal global de 0.50% a favor del transporte privado.
- Los ajustes de distribución horaria representan la primera introducción de datos externos. Los totales de viajes por hora se redistribuyen a lo largo del día de los períodos de pico para las horas valle. El total de viajes de la hora pico disminuye en el 13%, sin afectar el reparto modal.
- Los ajustes de red son los que influyen a todos los niveles, en generación con un aumento de viajes totales de 10% en relación al ajuste anterior, y de -5% en relación a la encuesta base. El reparto modal es alterado con un reequilibrio a favor del transporte privado, que pasa a representar 26% contra 23% en la base en hora pico mañana. En relación a la base, los viajes de transporte privado aumentan cerca de 10%, cuando los de público disminuyen en 9%.

Figura 87 Ajustes de viajes por etapa en hora pico mañana



7. CONCLUSIONES

Los factores de expansión de la encuesta de movilidad fueron ajustados por diferentes etapas sucesivas a saber: generación de viajes por estrato socio-económico, reparto modal igualmente por estrato, distribución horaria de viajes a lo largo del día, basado en la distribución horaria observada de las taquillas de Transmilenio, que representa un dato confiable y representativo para toda la ciudad.

La etapa final de ajuste por confrontación de la matrices de viajes extraídas de la encuesta con los datos de aforos observados en la calle no resultó en un ajuste adecuado para la zonificación detallada de 641 zonas, debido a la estructura de distribución de las matrices, principalmente la de transporte privado, que es de muy baja calidad.

El paliativo para los ajustes de factores de expansión por confrontación por red fue encontrado a través del uso de una zonificación agregada por UPZ, que permite obtener una calibración globalmente satisfactoria para los flujos principales de viajes, y que resulta en factores de ajustes consistentes para la encuesta, aunque las matrices obtenidas por agregación representan una simplificación para la modelación, con pérdida de detalle para simulación de proyectos. Las matrices agregadas están adecuadas con el propósito de planeación estratégica, pero no permiten estimaciones para proyectos detallados, o menos aún del nivel de diseño operacional de sistema de rutas de transporte público.

Se considera que la finalidad de las encuestas domiciliarias en general es ciertamente más para obtener datos que permiten estimar matrices de viajes, que producirlas directamente. La obtención de nuevas matrices de viajes desagregadas y actualizadas para Bogotá pasa necesariamente por un proceso de modelación de demanda, que incorpora entre otros los datos obtenidos en la encuesta de movilidad.

La prioridad para el desarrollo y mejoramiento del modelo de planeación de transporte de Bogotá requiere la calibración y aplicación de modelos de demanda, generación, distribución y reparto modal, calibrados a partir de los datos de la encuesta.

Para el transporte privado, como no existen datos complementarios, la estimación de matrices es obligatoriamente hecha por modelos de demanda puros, con ajustes finales por conteos vehiculares.

Para el transporte público, se recomienda métodos mixtos para la obtención de matrices. A partir de los modelos de demanda, pueden incorporarse otros datos

observados, por ejemplo utilizar la estructura de la matriz obtenida por encuestas embarcadas en 2002, que puede ser utilizada para calibrar la distribución de tiempo de viaje. Es necesario incorporar también la matriz OD de estaciones de Transmilenio, que representa un dato de gran calidad y confiabilidad, por ser una encuesta exhaustiva. La incorporación de datos observados confiables puede resultar en ajustes que dispensen el recurso del ajuste por conteos.

El uso de modelos de demanda, una vez calibrados para el año base, permite fácilmente la obtención de matrices futuras para diferentes horizontes de estudio, estimadas a partir de proyecciones de datos socio-económicos. Es también la mejor metodología para estimar correctamente los impactos de la extensión de Transmilenio sobre el reparto modal, o los efectos de cambios previstos en el uso del suelo, y representa un instrumento de gran importancia para la planeación.



Revisión WPCH Enero 20 de 2006