

CONTENIDO

CONTENIDO.....	I
ÍNDICE DE TABLAS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XI
4 MODELACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE	4-1
4.1 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y GENERACIÓN DE BASES DE DATOS	
4-2	
4.1.1 Sistema de información geográfica TransCAD.....	4-2
4.2 ESTRUCTURA GENERAL DEL MODELO DE SIMULACIÓN	4-29
4.2.1 Modelo de transporte privado	4-30
4.2.2 Modelo de transporte público	4-34
4.3 DEFINICIÓN DEL PERIODO DE MODELACIÓN	4-39
4.4 VALIDACIÓN Y CORRECCION DE LA DEMANDA ACTUAL EHODCH	4-40
4.4.1 Metodología empleada	4-41
4.4.2 Resultados obtenidos	4-44
4.5 CALIBRACIÓN A LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS MODELOS DEL AÑO BASE .4-	
69	
4.5.1 Modelo de transporte privado	4-69
4.5.2 Modelo de transporte público	4-76
4.5.3 Análisis estadístico de la calibración de los modelos	4-81
4.6 PRONÓSTICO DE LA DEMANDA	4-86
4.6.1 Modelos de demanda	4-86
4.7 MODELO DE ELECCIÓN MODAL.....	4-112
4.7.1 Introducción	4-113
4.7.2 Objetivos.....	4-113
4.7.3 Metodología para la realización de las encuestas de preferencia declarada	4-113
4.7.4 Definición del marco y tamaño muestral.....	4-114

4.7.5	Diseño de los formularios y material de apoyo	4-115
4.7.6	Trabajo en campo	4-118
4.7.7	Análisis de la información generada	4-120
4.7.8	Estimación del modelo de elección modal	4-124
4.8	Proyección de la demanda tendencial en horizontes futuros	4-135
4.8.1	Transporte privado	4-136
4.8.2	Transporte público	4-144
4.9	Evaluación Futura del Escenario Línea Base de Oferta	4-151
4.9.1	Conformación del escenario Línea Base	4-152
4.9.2	Simulación futura del escenario Línea Base	4-158

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Clasificación vial de los arcos de la red de modelación	4-4
Tabla 4.2 Valores de capacidades por tipo de vía del estudio	4-6
Tabla 4.3 Estructura base de datos de la red vial de modelación	4-16
Tabla 4.4 Viajes totales en transporte privado antes y después de los procesos de corrección por conteos	4-45
Tabla 4.5 Comparación de viajes producidos en automóvil. Periodo pico AM	4-47
Tabla 4.6 Comparación de viajes producidos en automóvil. Periodo pico PM	4-48
Tabla 4.7 Comparación de viajes atraídos en automóvil. Periodo pico AM	4-52
Tabla 4.8 Comparación de viajes atraídos en automóvil. Periodo pico PM	4-54
Tabla 4.9 Viajes totales en transporte público antes y después de los procesos de corrección por conteos	4-58
Tabla 4.10 Comparación de viajes producidos en transporte público. Periodo pico AM. 4-60	
Tabla 4.11 Comparación de viajes producidos en transporte público. Periodo pico PM. 4-62	
Tabla 4.12 Comparación de viajes atraídos en transporte público. Periodo pico AM	4-64
Tabla 4.13 Comparación de viajes atraídos en transporte público. Periodo pico PM	4-66
Tabla 4.14 Resultado de la calibración de los coeficientes de la función de costo generalizado del transporte público	4-77
Tabla 4.15 Tasas medias de transbordo observadas y simuladas	4-77
Tabla 4.16 Principales estadísticos de las distribuciones comparadas de cada modelo 4-82	
Tabla 4.17 Resultados obtenidos de las pruebas para diferencia de medias	4-82
Tabla 4.18 Resultados obtenidos de las pruebas de análisis de varianza	4-83

Tabla 4.19 Proceso de discriminación y selección.....	4-91
Tabla 4.20 Ajuste por valores extremos.....	4-92
Tabla 4.21 Resultados de Estimación de Modelo	4-127
Tabla 4.22 Valores Subjetivos del Tiempo.....	4-128
Tabla 4.23 Análisis de Sensibilidad.....	4-135
Tabla 4.24 Tabla resumen generación – atracción de viajes en transporte privado	4-136
Tabla 4.25 Tasa de Crecimiento Medio Anual de viajes en transporte privado	4-136
Tabla 4.26 Tabla resumen generación – atracción de viajes en transporte público.....	4-144
Tabla 4.27 Tasa de Crecimiento Medio Anual de viajes en transporte público.....	4-145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Clasificación vial de la red de modelación	4-5
Figura 4.2 Número de carriles de la red vial de simulación.....	4-8
Figura 4.3 Tipo de pavimento de la red vial de simulación	4-9
Figura 4.4 Estado de la superficie de rodadura de la red vial de simulación	4-10
Figura 4.5 Ubicación geográfica de los aforos desarrollados en campo	4-12
Figura 4.6 Velocidades observadas sobre los principales corredores durante el periodo de máxima demanda de la mañana	4-14
Figura 4.7 Velocidades observadas sobre los principales corredores durante el periodo de máxima demanda de la tarde.....	4-15
Figura 4.8 Intersecciones con giros no permitidos	4-19
Figura 4.9 Red de transporte público de Chihuahua.....	4-21
Figura 4.10 Velocidades observadas del transporte público durante el periodo de máxima demanda de la mañana	4-23
Figura 4.11 Velocidades observadas del transporte público durante el periodo de máxima demanda de la tarde.....	4-24
Figura 4.12 Zonas de tránsito definidas para la parte urbana de la ciudad de Chihuahua	4-27
Figura 4.13 Zonificación completa del estudio	4-28
Figura 4.14 Macrozonas	4-29
Figura 4.15 Red vial de modelación.....	4-31
Figura 4.16 Rutas de transporte colectivo actual	4-35
Figura 4.17 Velocidades medias del transporte público. Periodo de máxima demanda de la mañana	4-37
Figura 4.18 Velocidades medias del transporte público. Periodo de máxima demanda de la tarde	4-38

Figura 4.19 Histograma acumulado de automotores privados en los puntos de conteo vehicular.....	4-39
Figura 4.20 Histograma acumulado de pasajeros en los puntos de frecuencia y ocupación visual.....	4-40
Figura 4.21 Ubicación de los puntos de aforo de automóviles.....	4-42
Figura 4.22 Ubicación de puntos de control de volúmenes de pasajeros del transporte público.....	4-43
Figura 4.23 Comparación de la distribución por macrozona del total de viajes producidos en automóvil en el periodo de máxima demanda de la mañana. Matriz original de la encuesta de movilidad Vs Matriz corregida con datos de tránsito.....	4-45
Figura 4.24 Comparación de la distribución por macrozona del total de viajes producidos en automóvil en el periodo de máxima demanda de la tarde. Matriz original de la encuesta de movilidad Vs Matriz corregida con datos de tránsito.....	4-47
Figura 4.25 Comparación de la distribución por macrozona del total de viajes atraídos en automóvil en el periodo de máxima demanda de la mañana. Matriz original de la encuesta de movilidad Vs Matriz corregida con datos de tránsito.....	4-51
Figura 4.26 Comparación de la distribución por macrozona del total de viajes atraídos en automóvil en el periodo de máxima demanda de la tarde. Matriz original de la encuesta de movilidad Vs Matriz corregida con datos de tránsito	4-53
Figura 4.27 Principales líneas de deseo de automóviles en el periodo de máxima demanda de la mañana. Comparación matriz total original EM Vs. matriz corregida	4-56
Figura 4.28 Principales líneas de deseo de automóviles en el periodo de máxima demanda de la tarde. Comparación matriz total original EM Vs. matriz corregida	4-57
Figura 4.29 Comparación de la distribución por macrozona del total de viajes producidos en transporte público en el periodo de máxima demanda de la mañana. Matriz original de la encuesta de movilidad Vs Matriz corregida con datos de tránsito.....	4-59

Figura 4.30 Comparación de la distribución por macrozona del total de viajes producidos en transporte público en el periodo de máxima demanda de la tarde. Matriz original de la encuesta de movilidad Vs Matriz corregida con datos de tránsito.....	4-61
Figura 4.31 Comparación de la distribución por macrozona del total de viajes atraídos en transporte público en el periodo de máxima demanda de la mañana. Matriz original de la encuesta de movilidad Vs Matriz corregida con datos de tránsito.....	4-63
Figura 4.32 Comparación de la distribución por macrozona del total de viajes atraídos en transporte público en el periodo de máxima demanda de la tarde. Matriz original de la encuesta de movilidad Vs Matriz corregida con datos de tránsito.....	4-65
Figura 4.33 Principales líneas de deseo en transporte público en el periodo de máxima demanda de la mañana. Comparación matriz total original EM Vs. matriz corregida .	4-67
Figura 4.34 Principales líneas de deseo en transporte público en el periodo de máxima demanda de la tarde. Comparación matriz total original EM Vs. matriz corregida	4-68
Figura 4.35 Velocidades medias calibradas del transporte privado. Modelo de la mañana	4-71
Figura 4.36 Velocidades medias calibradas del transporte privado. Modelo de la tarde.	4-72
Figura 4.37 Dispersión del volumen de vehículos privados asignados Vs. observados en los puntos de control. Escenario año base calibrado en el periodo pico de la mañana. .	4-73
Figura 4.38 Dispersión del volumen de vehículos privados asignados Vs. observados en los puntos de control. Escenario año base calibrado en el periodo pico de la tarde...	4-73
Figura 4.39 Asignación del transporte privado. Escenario calibrado del periodo pico de la mañana	4-74
Figura 4.40 Asignación del transporte privado. Escenario calibrado del periodo pico de la tarde	4-76
Figura 4.41 Dispersión del volumen de pasajeros asignados vs. observados. Escenario calibrado de la mañana	4-78
Figura 4.42 Dispersión del volumen de pasajeros asignados vs. observados. Escenario calibrado de la tarde.....	4-78
Figura 4.43 Asignación del transporte público. Escenario calibrado del periodo de máxima demanda de la mañana	4-79

Figura 4.44 Asignación del transporte público. Escenario calibrado del periodo de máxima demanda de la tarde.....	4-81
Figura 4.45 Formato de Encuesta de Preferencia Declarada	4-116
Figura 4.46 Ejemplo de Tarjeta de Encuesta de Preferencia Declarada.....	4-117
Figura 4.47 Distribución de Tiempos de Viaje.....	4-122
Figura 4.48 Distribución de Cuadras de Caminata.....	4-122
Figura 4.49 Sensibilidad hacia tarifa de usuarios ingreso bajo motivo trabajo	4-131
Figura 4.50 Sensibilidad hacia tarifa de usuarios ingreso medio-alto motivo trabajo	4-131
Figura 4.51 Sensibilidad hacia estacionamiento de usuarios ingreso bajo motivo trabajo	4-133
Figura 4.52 Sensibilidad hacia costo de estacionamiento de usuarios ingreso medio-alto motivo trabajo.....	4-133
Figura 4.53 Viajes generados en automóvil por zona 2011	4-138
Figura 4.54 Viajes atraídos en automóvil por zona 2011	4-139
Figura 4.55 Viajes generados en automóvil por zona 2016	4-140
Figura 4.56 Viajes atraídos en automóvil por zona 2016	4-141
Figura 4.57 Viajes generados en automóvil por zona 2026	4-142
Figura 4.58 Viajes atraídos en automóvil por zona 2026	4-143
Figura 4.59 Participación del transporte público respecto al transporte motorizado	4-144
Figura 4.60 Viajes generados en transporte público por zona 2011	4-146
Figura 4.61 Viajes atraídos en transporte público por zona 2011	4-147
Figura 4.62 Viajes generados en transporte público por zona 2016	4-148
Figura 4.63 Viajes atraídos en transporte público por zona 2016	4-149

Figura 4.64 Viajes generados en transporte público por zona 2026	4-150
Figura 4.65 Viajes atraídos en transporte público por zona 2026	4-151
Figura 4.66 Zonas de expansión esperadas a 2011 y sus vialidades de conexión.....	4-153
Figura 4.67 Zonas de expansión esperadas a 2016 y sus vialidades de conexión.....	4-154
Figura 4.68 Zonas de expansión esperadas a 2026 y sus vialidades de conexión.....	4-155
Figura 4.69 Zonas de expansión esperadas a 2011 y las rutas modificadas o creadas para su servicio	4-156
Figura 4.70 Zonas de expansión esperadas a 2016 y las rutas modificadas o creadas para su servicio	4-157
Figura 4.71 Zonas de expansión esperadas a 2026 y las rutas modificadas o creadas para su servicio	4-158
Figura 4.72 Asignación del transporte privado. Escenario del periodo pico de la mañana al año 2011	4-160
Figura 4.73 Asignación del transporte privado. Escenario del periodo pico de la mañana al año 2016	4-161
Figura 4.74 Asignación del transporte privado. Escenario del periodo pico de la mañana al año 2026	4-162
Figura 4.75 Asignación del transporte privado. Escenario del periodo pico de la tarde al año 2011	4-163
Figura 4.76 Asignación del transporte privado. Escenario del periodo pico de la tarde al año 2016	4-164
Figura 4.77 Asignación del transporte privado. Escenario del periodo pico de la tarde al año 2026	4-165
Figura 4.78 Asignación de pasajeros. Escenario del periodo pico de la mañana al año 2011	4-166
Figura 4.79 Asignación de pasajeros. Escenario del periodo pico de la mañana al año 2016	4-167

Figura 4.80 Asignación de pasajeros. Escenario del periodo pico de la mañana al año 2026 4-168

Figura 4.81 Asignación de pasajeros. Escenario del periodo pico de la tarde al año 2011 4-168

Figura 4.82 Asignación de pasajeros. Escenario del periodo pico de la tarde al año 2016 4-169

Figura 4.83 Asignación de pasajeros. Escenario del periodo pico de la tarde al año 2026 4-170

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 4.1	Velocidades Campo vs Modelo
Anexo 4.2	Volúmenes Vehiculares Campos vs Modelo
Anexo 4.3	Volúmenes Pasajeros Transporte Público
Anexo 4.4	Matrices de viaje

4 MODELACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

Este capítulo tiene por objetivo explicar de forma general la metodología y procedimientos empleados para formar la base del análisis del sistema de transporte de la ciudad de Chihuahua.

Inicialmente, se describen las actividades ejecutadas como parte del procesamiento y generación de las bases de datos a partir de la información primaria y secundaria obtenida durante la etapa de recopilación. Esta etapa incluye la revisión detallada de la información con la que cuentan las dependencias públicas municipales, especialmente en los temas relacionados con transporte y con los planes de desarrollo.

Adicionalmente a la información existente, también se considera la incorporación de los resultados de los estudios de campo que se realizaron como parte de la recopilación de información primaria. Esta constituye un aspecto esencial para la determinación operacional de los componentes del sistema de transporte en el ámbito de la simulación.

La información primaria y secundaria procesada, se estructuró en unos casos en archivos del sistema de información geográfica TransCAD y en otros en formatos de manejo de bases de datos.

Utilizando las bases de resultados de los estudios de aforos vehiculares y de frecuencia y ocupación visual del transporte público, se prosiguió con la definición de los periodos críticos para el análisis del sistema de transporte de la ciudad. Se determinó efectuar los trabajos de modelación del transporte privado y público, en los periodos de máxima demanda de la mañana y de la tarde.

Con base en la información recabada en campo y en los resultados de la Encuesta de Hogares de Origen y Destino de Chihuahua (EHODCH), se estructuraron modelos de simulación del transporte privado y del transporte público, para cada periodo de análisis. Para cada uno de los periodos, se aplicó una metodología técnica tendiente a lograr la validación y el ajuste de las matrices resultantes de la EHODCH a las condiciones de tránsito actualmente observadas en cada caso.

Posteriormente se describen los principales elementos que componen los bancos de datos de los modelos de transporte privado y público desarrollados en el software Emme/2. Se detallan para cada caso, las consideraciones y características que se incorporaron para la representación de la situación actual.

Una vez ingresadas las características actuales de la oferta y la demanda dentro del modelo de simulación, se procedió a calibrar en cada periodo el escenario base para cada tipo de transporte. Los modelos se consideraron calibrados cuando representaron tanto los volúmenes de tránsito como los tiempos de viaje tomados en campo.

En lo concerniente al pronóstico de la demanda, se describe el proceso de desarrollo de los modelos de generación y atracción de viajes. Los vectores de viajes estimados a futuro, fueron la entrada al proceso de distribución que se detalla igualmente en este capítulo. Adicionalmente se muestra un análisis comparativo en el tiempo, en cuanto a los cambios secuenciales de las matrices estimadas para los periodos pico.

Con la demanda pronosticada, se realizó finalmente la simulación futura del comportamiento que tendría el sistema de transporte bajo el escenario de línea base, el cual se fundamenta en la hipótesis de mantener la oferta actual, incluyendo únicamente la infraestructura mínima requerida para la conectividad con las nuevas zonas de expansión urbana, que determina el plan de desarrollo municipal.

4.1 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y GENERACIÓN DE BASES DE DATOS

Las bases de datos elaboradas para este proyecto, fueron conformadas a partir de información de campo e información documental.

La información de campo se centró básicamente en determinar condiciones operativas del transporte público, tales como velocidades, frecuencias de paso, niveles de ocupación y ascensos y descensos en las paradas, entre otros.

Se obtuvo el archivo geográfico de las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEBS), el cual fue alimentado información socioeconómica del año 2000, proveniente del INEGI.

Es importante mencionar que la información fue consolidada en bases geográficas elaboradas en el software TransCAD, con el fin de optimizar la concentración y validar la consistencia y el uso de la misma durante las diferentes etapas del estudio.

4.1.1 Sistema de información geográfica TransCAD

Un Sistema de Información Geográfica es un tipo especial de datos computarizados capaz de manejar cifras estadísticas relacionadas a entornos geográficamente referenciados, los cuales pueden representarse gráficamente como imágenes. Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones, siendo un instrumento que permite la planificación y uso eficiente de infraestructuras de servicios.

El componente geográfico influye en gran medida en el desarrollo de acciones estratégicas, debido especialmente a la posibilidad de analizar la información desde diferentes perspectivas, lo cual muchas veces es difícil de lograr con los métodos tradicionales.

Un Sistema de Información Geográfica permite obtener una gran cantidad de información de diferentes tipos, tratarla para convertirla en conjuntos de datos compatibles, combinarlos y exponerlos gráficamente en forma de mapas. Algunas de las operaciones básicas de los Sistemas de Información Geográfica son:

- Representación gráfica de los datos (mapas temáticos).
- Integración de mapas trazados a escalas diferentes.
- Cambio de escala y proyecciones de los mapas.
- Superposición de distintos tipos de mapas, formando uno nuevo con los datos descriptivos de cada uno de los mapas.

Como sucede en la mayoría de los procesos de análisis, la confiabilidad de la información producida, está estrechamente ligada a la calidad de los datos introducidos. Una información incorrecta o insuficiente, producirá resultados de igual manera incorrectos o insuficientes, por más avanzada que sea la tecnología utilizada.

Otro elemento importante para el eficaz funcionamiento del Sistema de Información Geográfica, es la acción coordinada entre los especialistas ordenadores y los de las áreas involucradas en el trabajo, con el fin de garantizar la correcta interpretación y evaluación de los resultados.

El Sistema de Información Geográfica utilizado en este proyecto, se desarrolló a partir de los resultados de los diferentes estudios ejecutados en campo, generando en cada caso los requerimientos y el nivel de detalle informativo necesarios para satisfacer las exigencias propias del presente estudio.

4.1.1.1 Red vial de transporte

La red vial representa la infraestructura definida por los principales atributos físicos y operativos (número de carriles, volúmenes vehiculares, capacidades, funciones de volumen/demora, tiempos de recorrido), que representan de manera adecuada la malla actual de la ciudad y los accesos/salidas hacia los municipios vecinos del estado.

Tomando como punto de partida el plano digital proporcionado por la subdivisión de catastro municipal con la actualización de la ciudad a 2005, se procedió a definir las redes para la modelación del sistema de transporte de la ciudad.

En primer lugar se hizo una simplificación de la red con el fin de incluir en el modelo las vías principales y secundarias, además de las vías locales sobre las cuales circula el transporte público. Mediante la funcionalidad de las vías y de sus características físicas obtenidas en campo, se definió la clasificación vial que se observa en la Tabla 4.1.

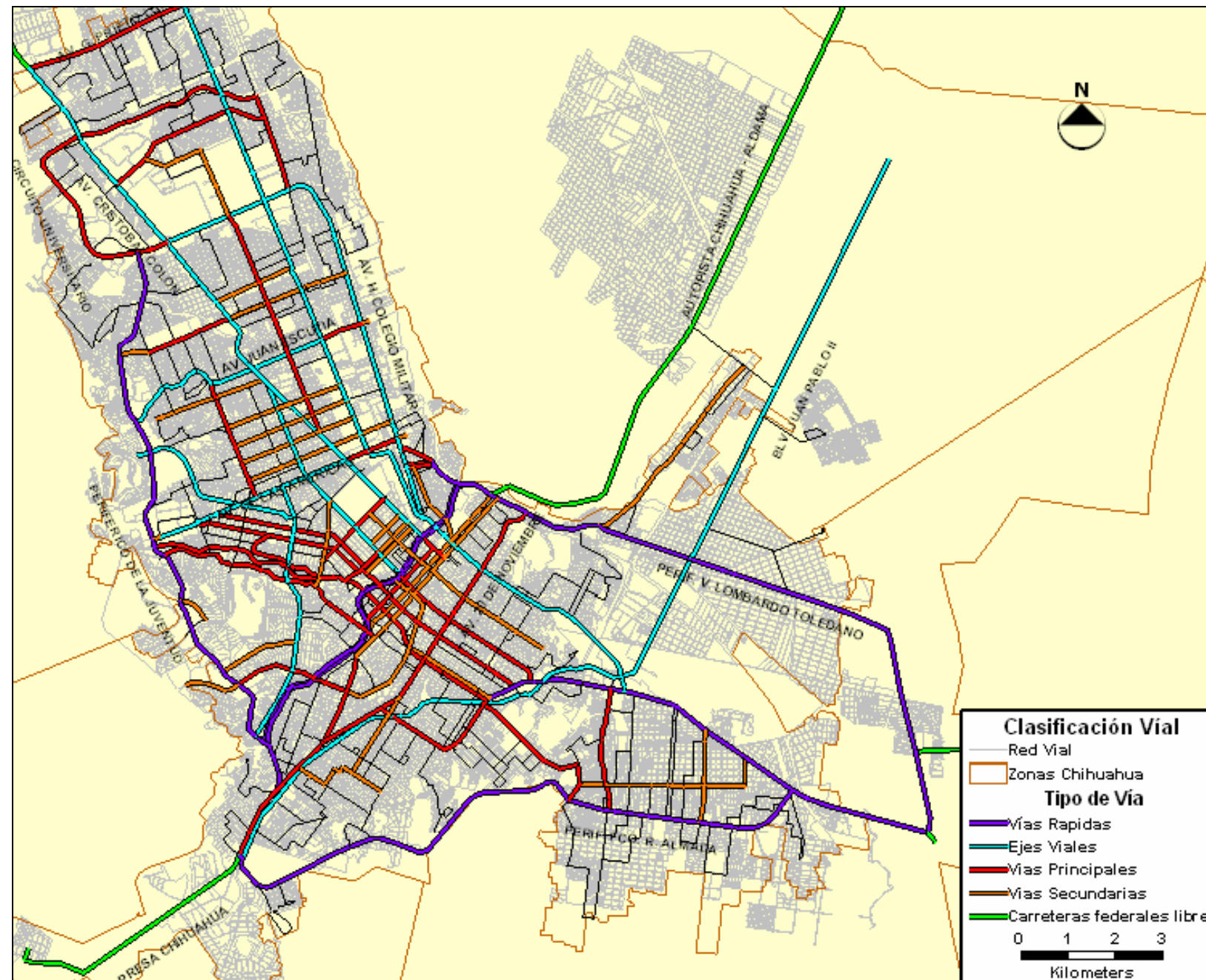
Tabla 4.1 Clasificación vial de los arcos de la red de modelación

CODIGO	TIPO DE VIA
1	Conector de centroide
2	Vías de acceso controlado
3	Ejes viales
4	Vías primarias de un sentido de circulación
5	Vías primarias de dos sentidos de circulación
6	Vías secundarias de un sentido de circulación
7	Vías secundarias de dos sentidos de circulación
8	Vías locales de un sentido de circulación
9	Vías locales de dos sentidos de circulación
10	Carreteras federales libres
11	Conector de centroide zona suburbana, zona de expansión y zona externa

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.1 se muestra la clasificación vial de la red definida para simulación.

Figura 4.1 Clasificación vial de la red de modelación



Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado este proceso, se digitalizaron los arcos seleccionados y se determinaron en función de información documental existente las características básicas asociadas a esta red, específicamente lo referente a sentidos de circulación, número de carriles y capacidad. Al final del proceso, la red resultante fue validada para conectividad, líneas dobles y cruce de líneas.

Para la estimación de la capacidad de cada uno de los enlaces que conforman la red vial de modelación, se partió de una capacidad ideal de 1,500 veh/hora/carril. Para encontrar un factor de equivalencia de esta capacidad ideal con respecto a los tres diferentes tipos de vías que se consideran en el proyecto (principal, secundaria y local), se utilizaron datos bibliográficos¹ soportados en mediciones realizadas por tipo, ubicación y número de carriles en vías americanas. Para efectos de nuestro estudio mantenemos esas relaciones y asumimos la capacidad ideal reseñada anteriormente. En la Tabla 4.2 se muestran las capacidades por hora obtenidas.

Tabla 4.2 Valores de capacidades por tipo de vía del estudio

TIPO DE VIA	Capacidad (Veh por carril por hora) Según Ubicación		
	Limite Urbano	Suburbano	Urbano
Vías de acceso controlado	1,500	1,500	1,500
Ejes viales	1,500	1,500	1,500
Vías primarias de un sentido de circulación	778	722	663
Vías primarias de dos sentidos de circulación	692	635	577
Vías secundarias de un sentido de circulación	722	663	606
Vías secundarias de dos sentidos de circulación	635	577	519
Vías locales de un sentido de circulación	663	606	606
Vías locales de dos sentidos de circulación	577	519	519
Carreteras federales libres	778	778	778

Fuente: Elaboración propia

El efecto de reducción de capacidad

Una vez establecida la capacidad de los enlaces, se estimó la reducción en la capacidad por efecto del transporte público y de camiones. Para el primer tipo de congestión se estimó el número de unidades de transporte público equivalentes que circulan por la red vial en el periodo de simulación. Lo anterior se efectuó con base en la información de frecuencias de las rutas que operan en el área de estudio, obtenida de los estudios de

¹ Mobile Source Emissions Inventory Protocol PM10 SIP Development.

campo realizados. Para establecer los vehículos equivalentes se definió 2.50 como factor de equivalencia para autobuses.

Con los volúmenes de vehículos de transporte de carga obtenidos para cada periodo a partir de los resultados de los aforos direccionales y de flujo, fueron estimadas precargas continuas de estos vehículos sobre los principales corredores de la red vial.

Las precargas mencionadas se establecen como volúmenes consecutivos sobre cada uno de los enlaces de un mismo corredor, los cuales están determinados por volúmenes de camiones resultantes en el par de puntos consecutivos de conteos en campo. La porción del corredor comprendida entre los volúmenes conocidos de campo, es asociada a flujos de camiones estimados secuencialmente para cada uno de los segmentos viales, empleando la rata de cambio por kilómetro que se calcula con el par de aforos conocidos.

Es importante mencionar que el proceso de composición de flujos de precarga sobre los principales corredores de la ciudad, se desarrolló para cada uno de los siguientes grupos vehiculares:

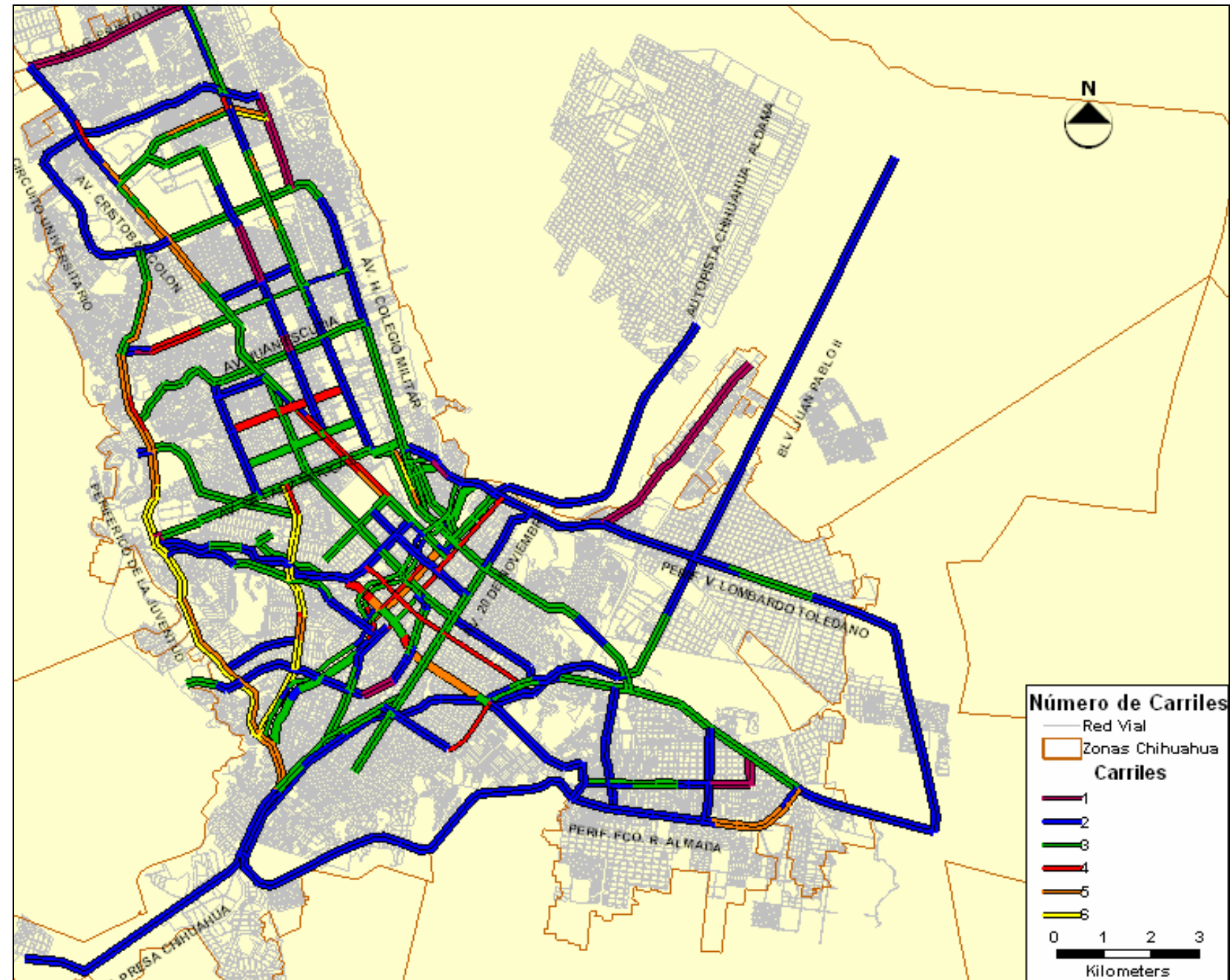
- Camiones de 2 ejes.
- Camiones de 3 y 4 ejes.
- Camiones de 5 ejes o más.

Para complementar la caracterización de la red vial, se asociaron a la base los siguientes campos de información:

- Número de carriles
- Separador central
- Sentido de circulación
- Tipo de pavimento
- Estado del pavimento

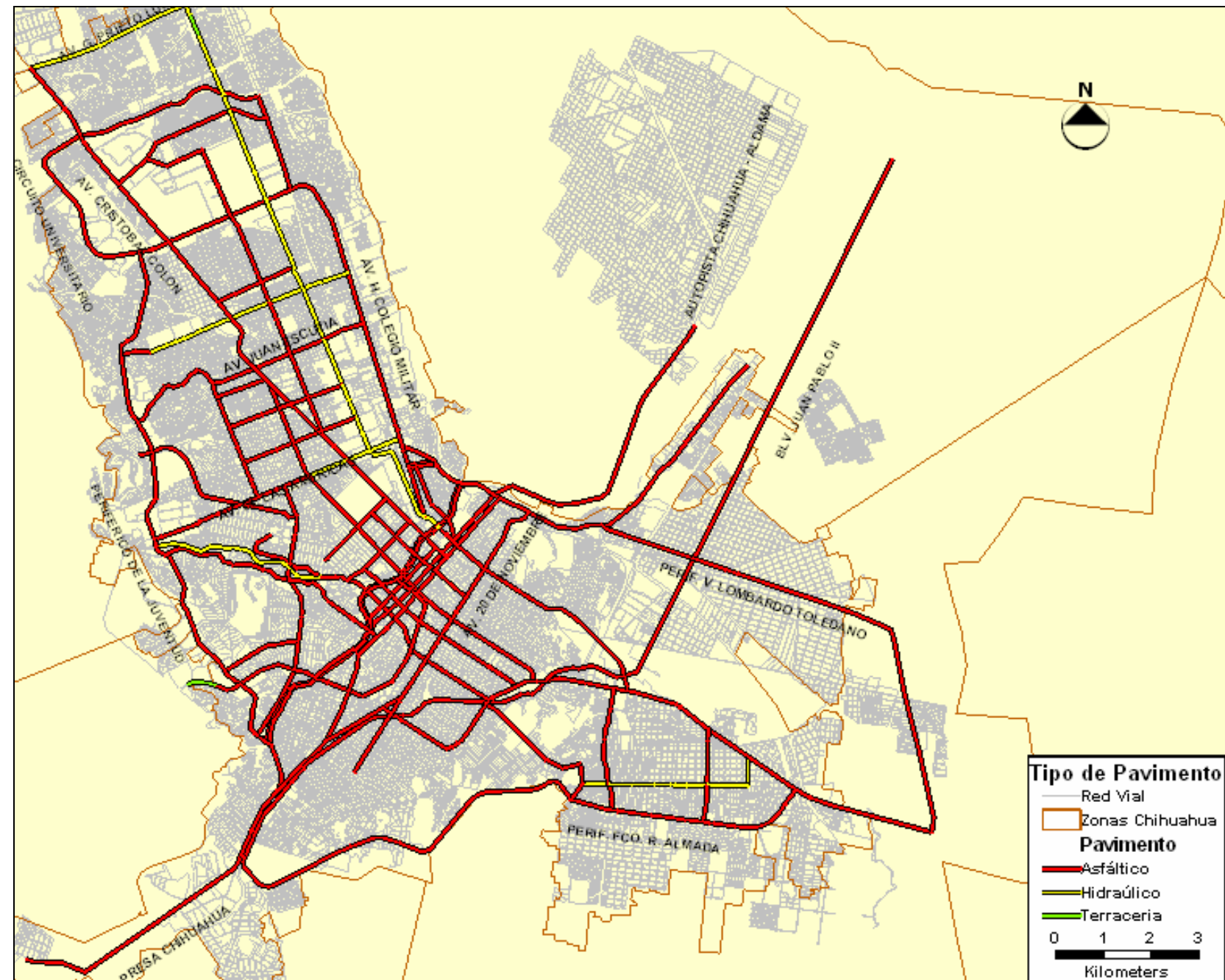
En la Figura 4.2, la Figura 4.3 y la Figura 4.4, se muestran los mapas temáticos de número de carriles, tipo de pavimento y estado de la superficie de rodadura de la red vial, respectivamente.

Figura 4.2 Número de carriles de la red vial de simulación



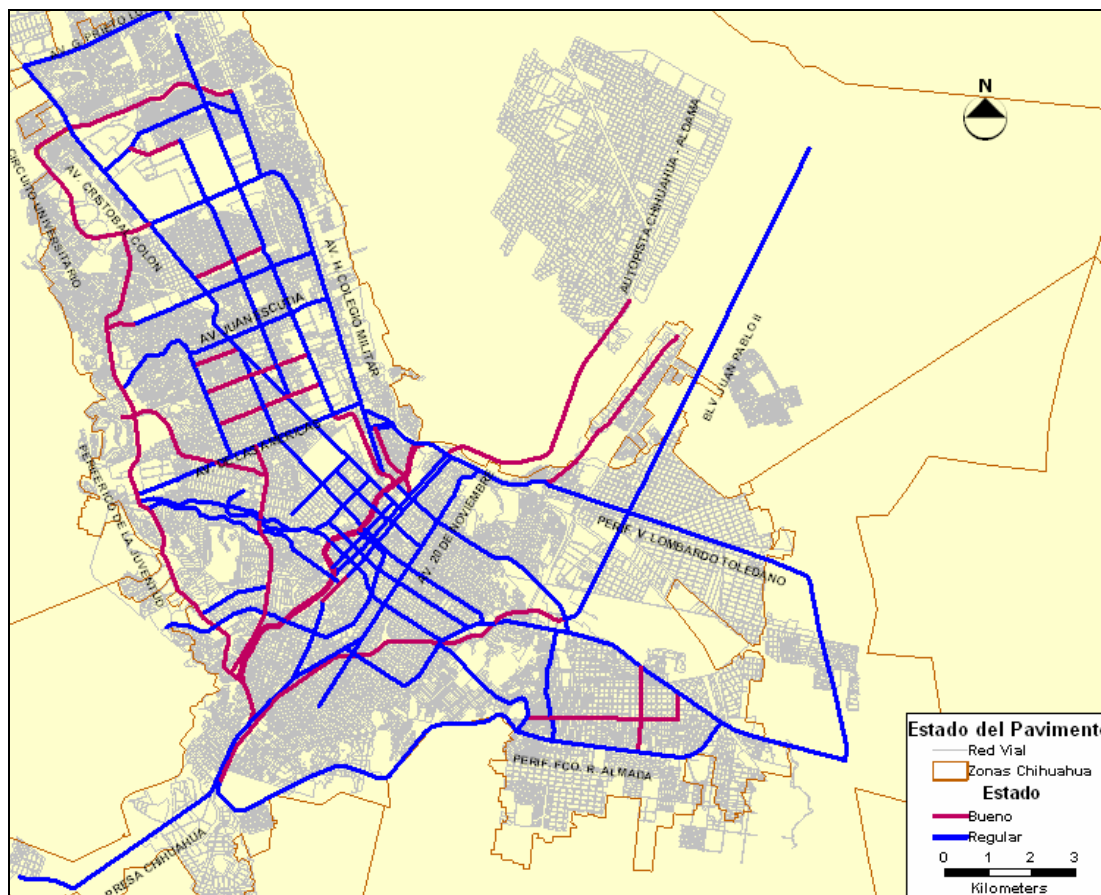
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3 Tipo de pavimento de la red vial de simulación



Fuente: Elaboración propia

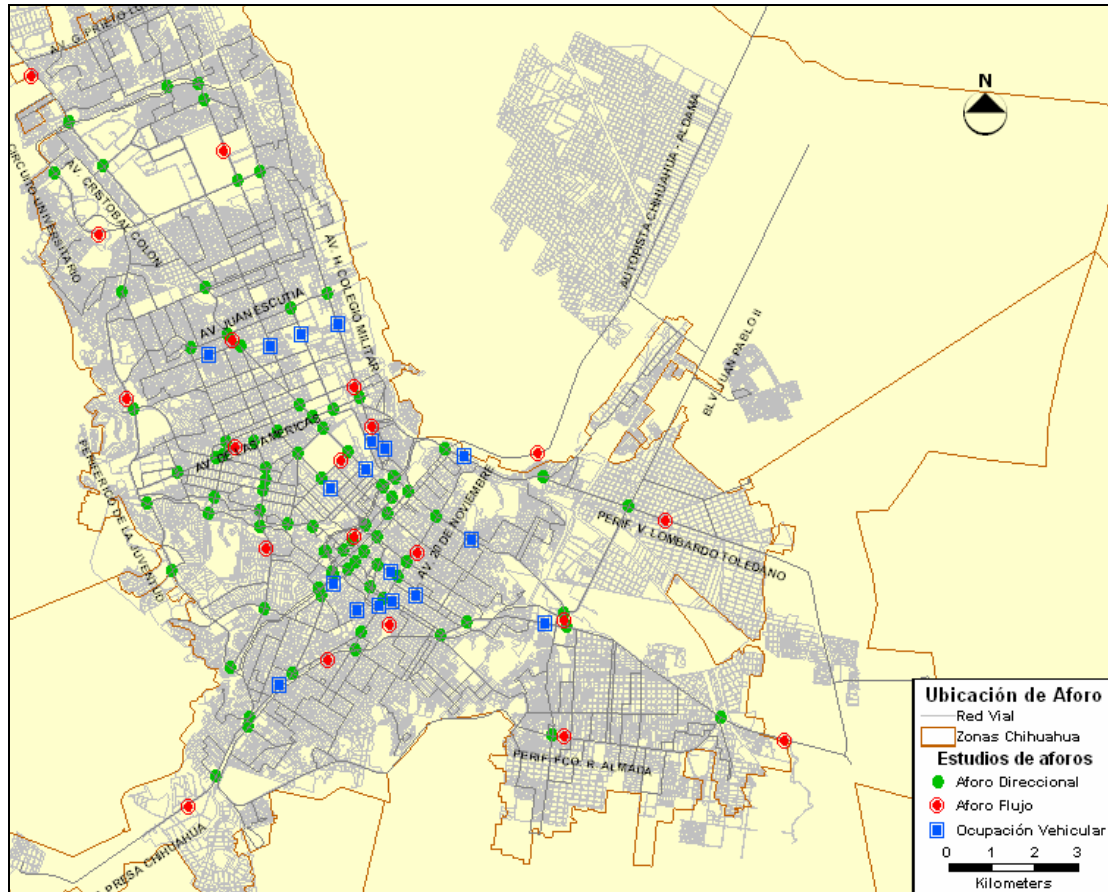
Figura 4.4 Estado de la superficie de rodadura de la red vial de simulación



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la información de volúmenes vehiculares, se alimentaron por sentido de circulación en la base de datos, los aforos vehiculares de flujo y direccionales que se obtuvieron para cada periodo de modelación. De manera similar, a partir de los resultados de los estudios de frecuencia y ocupación visual, se obtuvieron aforos de pasajeros en transporte público sobre puntos estratégicos de los principales corredores de la ciudad. La Figura 4.5, muestra la ubicación geográfica de cada uno de los tipos de aforo desarrollados en campo.

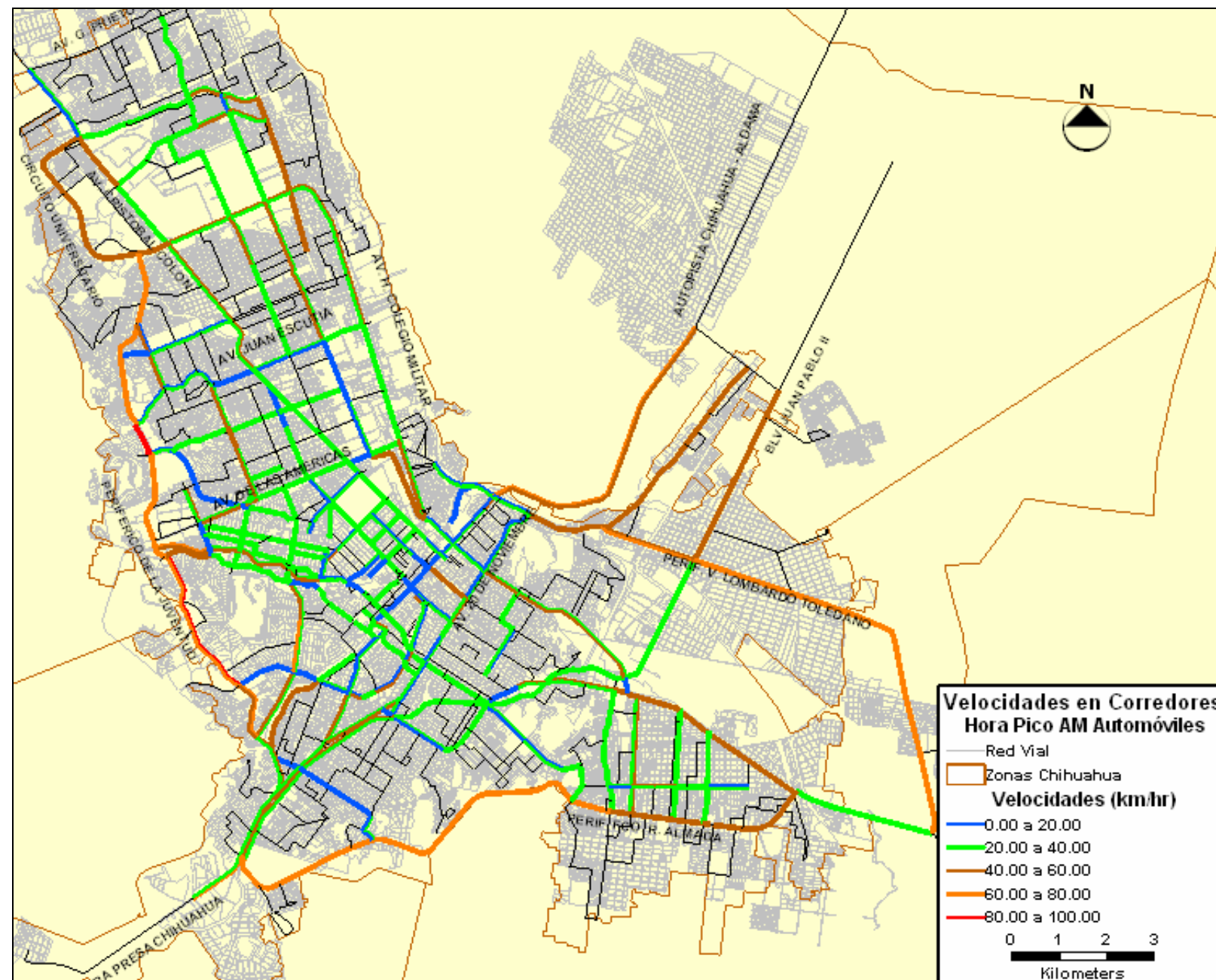
Figura 4.5 Ubicación geográfica de los aforos desarrollados en campo



Fuente: Elaboración propia

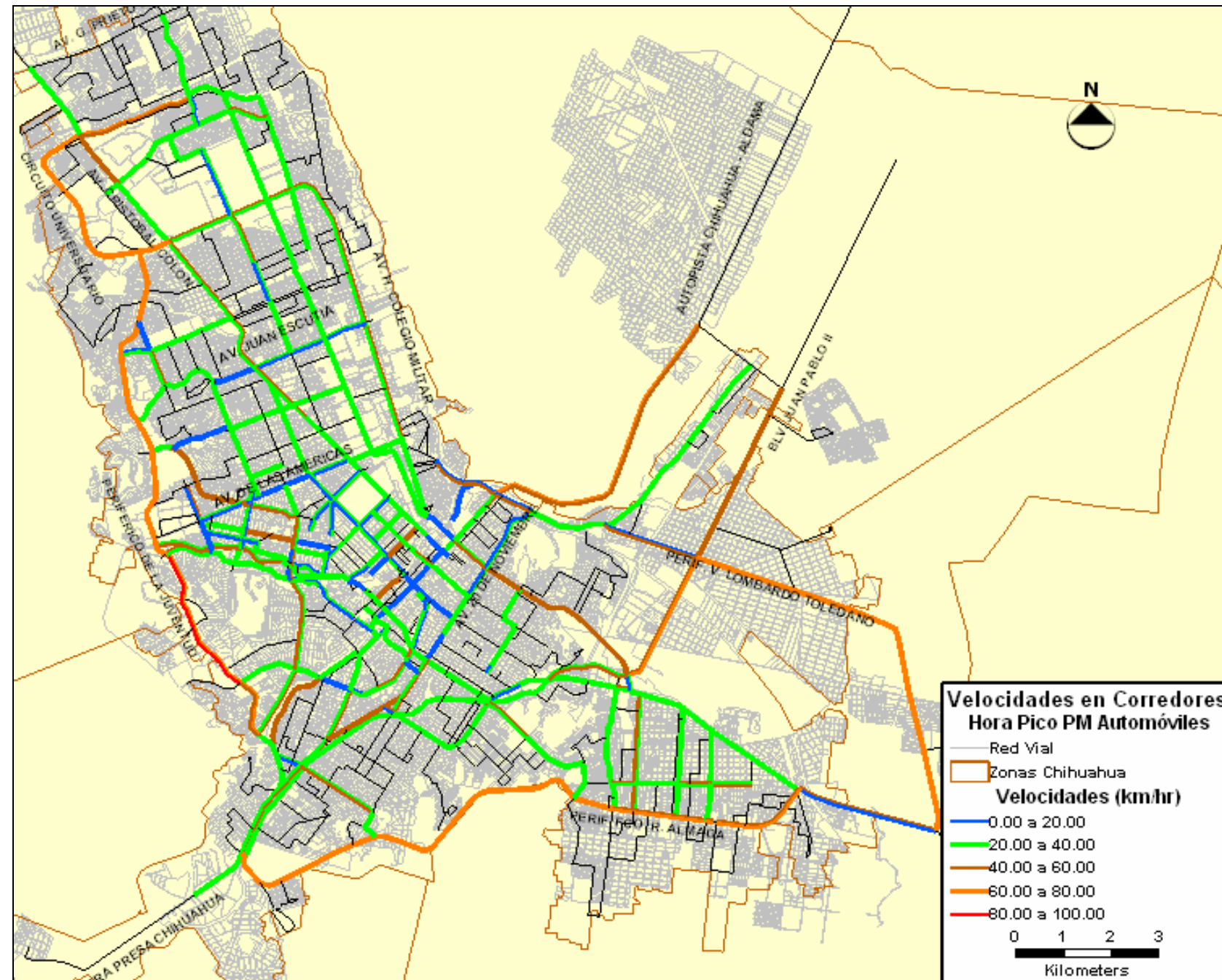
Los tiempos de recorrido, que determinan las velocidades medias de recorrido de los automóviles, fueron alimentados a la base de datos de la red vial. Los tiempos de cada recorrido realizado con la tecnología GPS, se depuraron y promediaron para obtener una velocidad media, la cual se cargó en el sistema de información geográfica en cada uno de los enlaces que conforman los corredores definidos para los levantamientos en campo. En la Figura 4.6 y la Figura 4.7, se observan las velocidades medias obtenidas sobre cada corredor durante las dos horas pico de la mañana y de la tarde, respectivamente.

Figura 4.6 Velocidades observadas sobre los principales corredores durante el periodo de máxima demanda de la mañana



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7 Velocidades observadas sobre los principales corredores durante el periodo de máxima demanda de la tarde



Fuente: Elaboración propia

La estructura de la base de datos de la red vial de modelación, se muestra en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Estructura base de datos de la red vial de modelación

Nombre del Campo	Descripción
ID	Identificador del enlace
Length	Longitud del enlace en kilómetros
Dir	Dirección del enlace
NOMBRE	Nombre de la vialidad
TipoVia	Tipo de vía
Edo_Pav	Estado del pavimento
Tipo_Pav	Tipo de pavimento
Carr_AB	Número de carriles sentido AB
Carr_BA	Número de carriles sentido BA
Sep_Cen	Separador central
Cpos_AB	Número de cuerpos sentido AB
Cpos_BA	Número de cuerpos sentido BA
AfAu_AM_AB	Aforo autos AM sentido AB
AfAu_AM_BA	Aforo autos AM sentido BA
AfTax_AM_AB	Aforo taxi AM sentido AB
AfTax_AM_BA	Aforo taxi AM sentido BA
AfB_TP_AM_AB	Aforo autobús TP AM sentido AB
AfB_TP_AM_BA	Aforo autobús TP AM sentido BA
AfB_Par_AM_AB	Aforo autobús particular AM sentido AB
AfB_Par_AM_BA	Aforo autobús particular AM sentido BA
AfB_For_AM_AB	Aforo autobús foráneo AM sentido AB
AfB_For_AM_BA	Aforo autobús foráneo AM sentido BA
AfB_T_AM_AB	Aforo autobús total AM sentido AB
AfB_T_AM_BA	Aforo autobús total AM sentido BA
AfC2_AM_AB	Aforo camión 2 ejes AM sentido AB
AfC2_AM_BA	Aforo camión 2 ejes AM sentido BA
AfC3_AM_AB	Aforo camión 3 ejes AM sentido AB
AfC3_AM_BA	Aforo camión 3 ejes AM sentido BA
AfC4_AM_AB	Aforo camión 4 ejes AM sentido AB
AfC4_AM_BA	Aforo camión 4 ejes AM sentido BA
AfC3_C4_AM_AB	Aforo camión 3 y 4 ejes AM sentido AB
AfC3_C4_AM_BA	Aforo camión 3 y 4 ejes AM sentido BA
AfC5_AM_AB	Aforo camión 5 ejes AM sentido AB
AfC5_AM_BA	Aforo camión 5 ejes AM sentido BA
Af_CT_AM_AB	Aforo total camiones AM sentido AB
Af_CT_AM_BA	Aforo total camiones AM sentido BA
AfM_AM_AB	Aforo motos AM sentido AB

Nombre del Campo	Descripción
AfM_AM_BA	Aforo motos AM sentido BA
AfPea_AM_AB	Aforo Peatones AM sentido AB
AfPea_AM_BA	Aforo Peatones AM sentido BA
AfBic_AM_AB	Aforo Bicicleta AM sentido AB
AfBic_AM_BA	Aforo Bicicleta AM sentido BA
AfAu_PM_AB	Aforo autos PM sentido AB
AfAu_PM_BA	Aforo autos PM sentido BA
AfTax_PM_AB	Aforo taxi PM sentido AB
AfTax_PM_BA	Aforo taxi PM sentido BA
AfB_TP_PM_AB	Aforo autobús TP PM sentido AB
AfB_TP_PM_BA	Aforo autobús TP PM sentido BA
AfB_Par_PM_AB	Aforo autobús particular PM sentido AB
AfB_Par_PM_BA	Aforo autobús particular PM sentido BA
AfB_For_PM_AB	Aforo autobús foráneo PM sentido AB
AfB_For_PM_BA	Aforo autobús foráneo PM sentido BA
AfB_T_PM_AB	Aforo autobús total PM sentido AB
AfB_T_PM_BA	Aforo autobús total PM sentido BA
AfC2_PM_AB	Aforo camión 2 ejes PM sentido AB
AfC2_PM_BA	Aforo camión 2 ejes PM sentido BA
AfC3_PM_AB	Aforo camión 3 ejes PM sentido AB
AfC3_PM_BA	Aforo camión 3 ejes PM sentido BA
AfC4_PM_AB	Aforo camión 4 ejes PM sentido AB
AfC4_PM_BA	Aforo camión 4 ejes PM sentido BA
AfC3_C4_PM_AB	Aforo camión 3 y 4 ejes PM sentido AB
AfC3_C4_PM_BA	Aforo camión 3 y 4 ejes PM sentido BA
AfC5_PM_AB	Aforo camión 5 ejes PM sentido AB
AfC5_PM_BA	Aforo camión 5 ejes PM sentido BA
Af_CT_PM_AB	Aforo total camiones PM sentido AB
Af_CT_PM_BA	Aforo total camiones PM sentido BA
AfM_PM_AB	Aforo motos PM sentido AB
AfM_PM_BA	Aforo motos PM sentido BA
AfPea_PM_AB	Aforo Peatones PM sentido AB
AfPea_PM_BA	Aforo Peatones PM sentido BA
AfBic_PM_AB	Aforo Bicicleta PM sentido AB
AfBic_PM_BA	Aforo Bicicleta PM sentido BA
AfOcu_TP_AB_AM	Aforo pasajeros TP AM sentido AB
AfOcu_TP_BA_AM	Aforo pasajeros TP AM sentido BA
AfOcu_TP_AB_PM	Aforo pasajeros TP PM sentido AB
AfOcu_TP_BA_PM	Aforo pasajeros TP PM sentido BA
IdAforo	Tipo de Aforo en el enlace
IdEsta	Numero de estación de aforo

Nombre del Campo	Descripción
Capacidad	Capacidad de la vía
VFL	Velocidad a flujo libre
Vel_Au_AM_AB	Velocidad autos AM sentido AB
Vel_Au_AM_BA	Velocidad autos AM sentido BA
Vel_TP_AM_AB	Velocidad TP AM sentido AB
Vel_TP_AM_BA	Velocidad TP AM sentido BA
Vel_Au_PM_AB	Velocidad autos PM sentido AB
Vel_Au_PM_BA	Velocidad autos PM sentido BA
Vel_TP_PM_AB	Velocidad TP PM sentido AB
Vel_TP_PM_BA	Velocidad TP PM sentido BA

Fuente: Elaboración propia

La red definida para modelación consta de 640 Km. de los cuales 243 Km. corresponden a la red vial primaria (66 Km. de vías rápidas, 87 Km. de ejes viales y 90 Km. de vías principales), 65 Km. de vías secundarias, 219 Km. de vías locales y 113 Km. de vías carreteras.

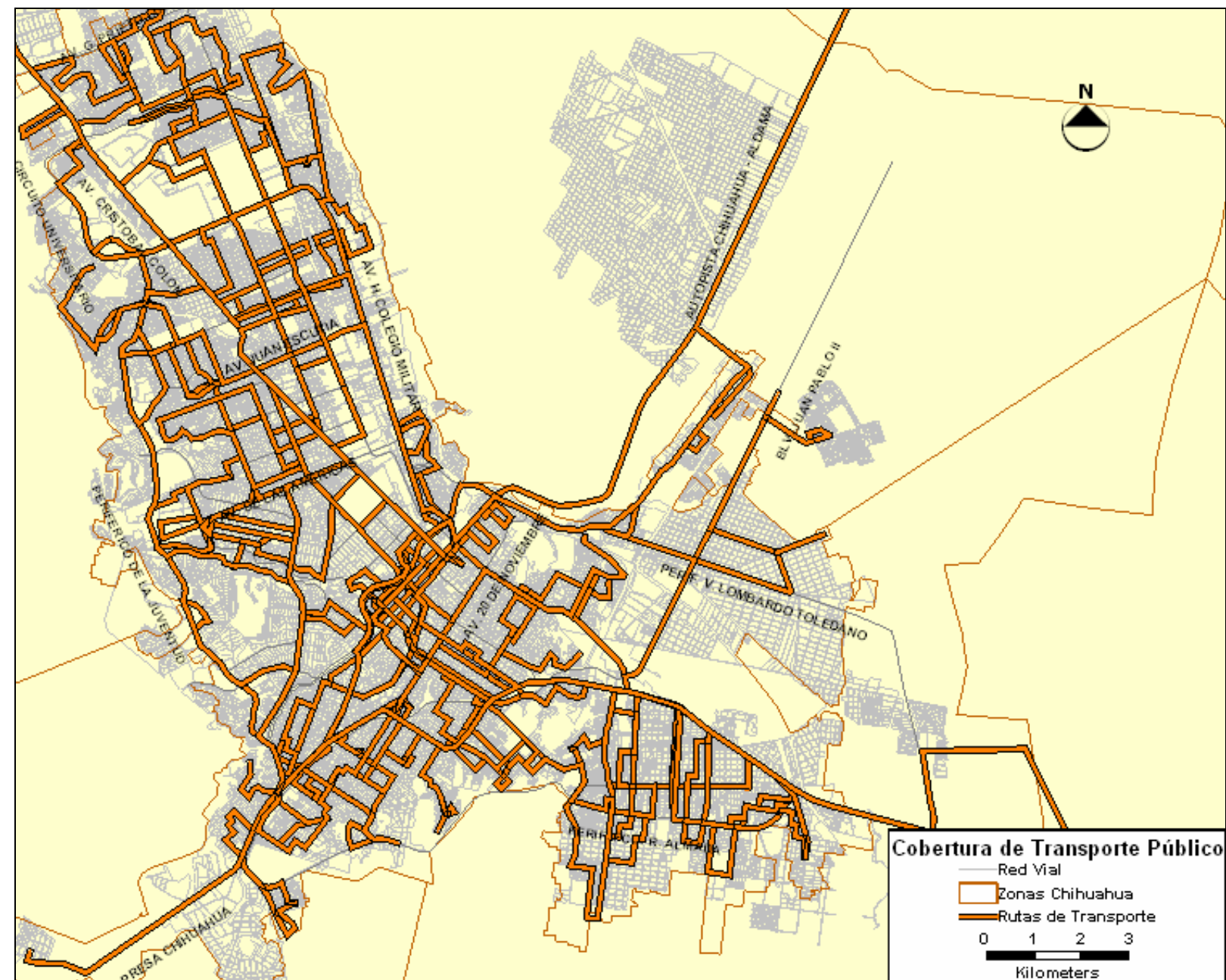
Con base en el inventario de las 80 intersecciones en las que se realizaron en campo los estudios de aforos direccionales, se determinaron las que tienen prohibición de giros para los automotores. En la Figura 4.8, se presentan las intersecciones en las que por lo menos uno de los giros no está permitido.

personas con discapacidad, no se considera dentro de la oferta del transporte para el segmento de población caracterizada a través de la Encuesta de Hogares de Origen y Destino de Chihuahua (EHODCH).

Mediante recorridos realizados con tecnología GPS a bordo de las unidades, se configura el posicionador con los mismos parámetros de proyección que tiene la red vial y todas las coberturas utilizadas en el estudio. A medida que se desarrolla el recorrido se va generando automáticamente una línea de trazado, la cual al final del proceso fue migrada para cada ruta al formato de archivo geográfico (de rutas).

En la Figura 4.9, se muestra el cubrimiento geográfico de las rutas de transporte público de la ciudad.

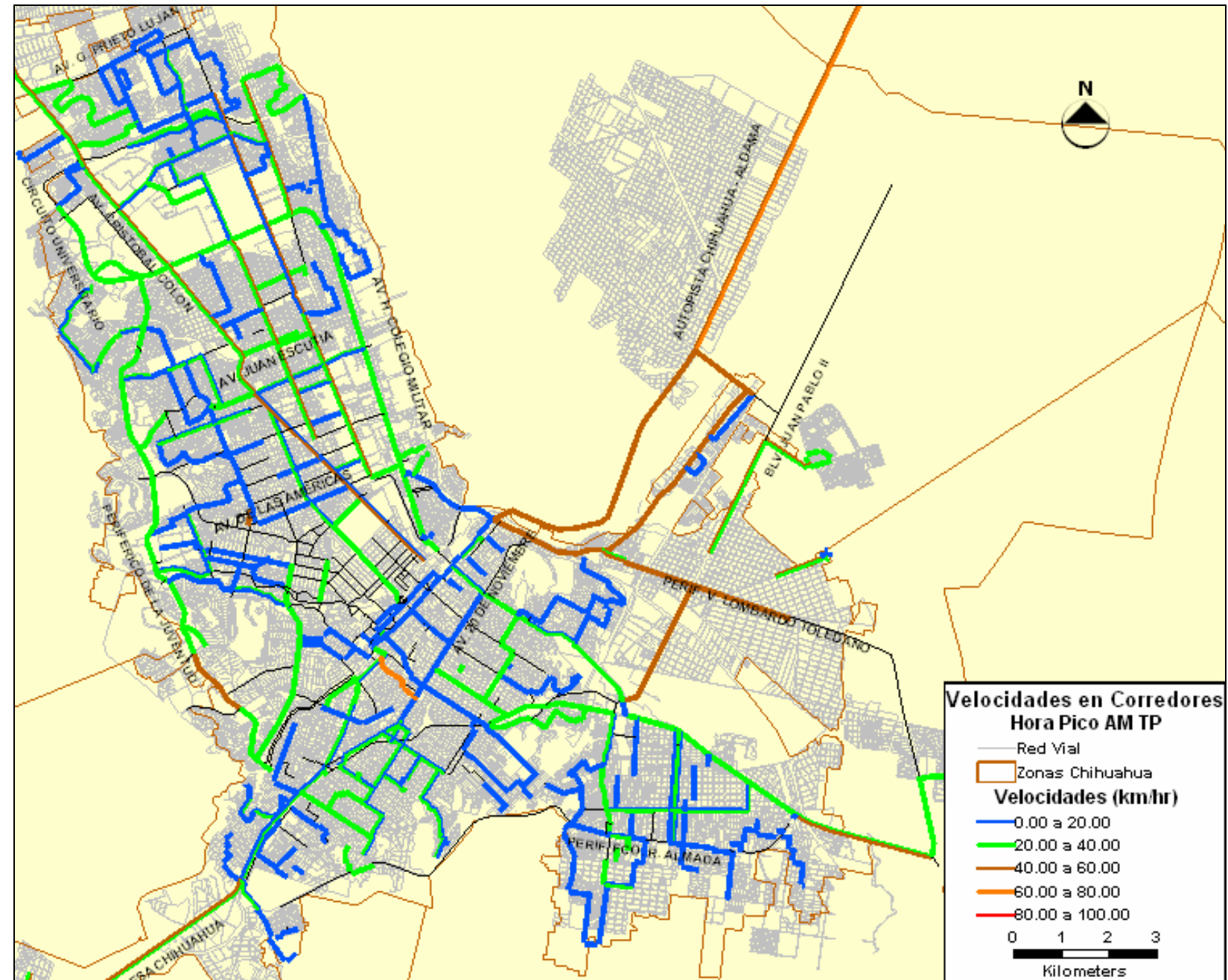
Figura 4.9 Red de transporte público de Chihuahua



Fuente: Elaboración propia

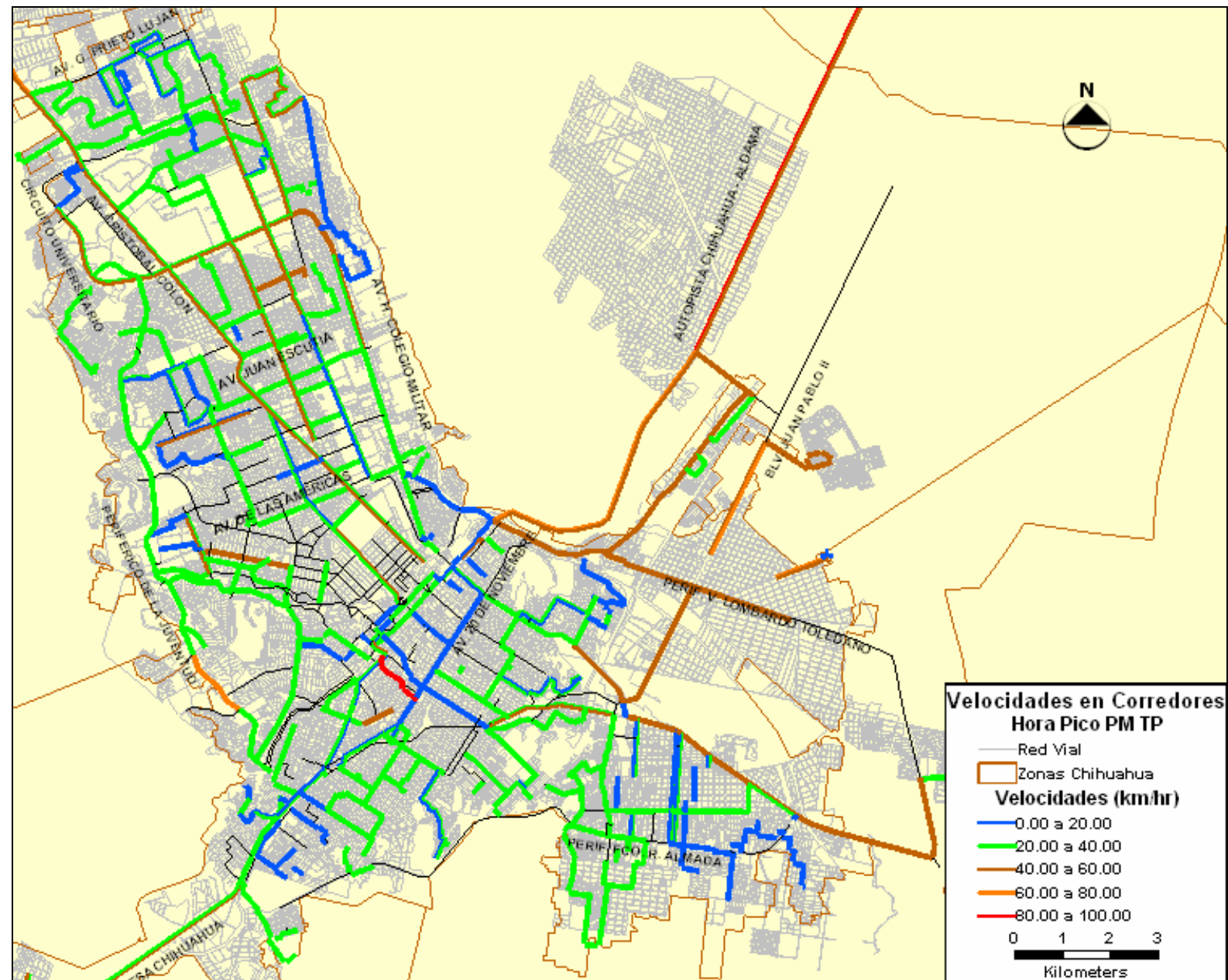
La base de datos de la red de rutas de transporte público fue caracterizada con los intervalos de paso resultantes de los estudios de frecuencia y ocupación visual. Adicionalmente con base en los resultados de los estudios de ascenso y descenso, se obtuvieron para cada periodo de modelación, las velocidades promedio en cada uno de los arcos de la red vial que son utilizados por las rutas sobre las cuales se efectuaron recorridos. En la Figura 4.10 y la Figura 4.11, se presentan respectivamente las velocidades promedio de la red de transporte público, para los periodos pico de la mañana y de la tarde.

Figura 4.10 Velocidades observadas del transporte público durante el periodo de máxima demanda de la mañana



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11 Velocidades observadas del transporte público durante el periodo de máxima demanda de la tarde



Fuente: Elaboración propia

4.1.1.3 Áreas geoestadísticas básicas

El archivo geográfico de AGEBS se cargó a cada una de las unidades, con la información socioeconómica más relevante del Censo Nacional de Población del año 2000.

Esta es la base a partir de la cual se agrega información para caracterizar la base de datos de los diferentes niveles de zonificación tenidos en cuenta en el proyecto.

4.1.1.4 Zonificación del área de estudio

Los modelos de simulación de transporte tienen como objetivo principal, proporcionar herramientas que permitan el análisis a nivel económico y social para establecer la factibilidad de los proyectos. El nivel de agregación que se requiere para este tipo de análisis, donde la especificación de orígenes y destinos se realiza en áreas geográficas relativamente pequeñas, lleva tanto a la consideración de la oferta y la demanda de transporte como a la representación de la totalidad de los servicios que proporcionan los generadores de actividades de transporte.

El proceso de planeación del transporte requiere el desarrollo de una secuencia de actividades que van desde la definición del área de estudio, el análisis de datos sobre oferta, hasta la determinación de proyecciones de la demanda. La base para desarrollar las predicciones de la demanda depende de la información que exista por área geográfica. Por esto es conveniente subdividir el área de estudio en zonas geográficas donde sea posible mantener información a diferentes niveles de agrupación.

La demanda de transporte se organiza y presenta usando el concepto de zonas de análisis de transporte. Para cada zona se producen estimativos del número de vehículos que se atraen y generan en cada área geográfica. Estos volúmenes se mueven entre las zonas de tránsito a través de la infraestructura de oferta de transporte.

La representación de la actividad que ocurre dentro de la zona se hace por medio de un centroide. Este se localiza dentro de la zona y representa el punto donde inicia y termina el viaje. Los centroides representan los puntos de origen y destino para la simulación de demanda y oferta de transporte.

Una vez descrita la forma en que se utiliza la definición de zona de tránsito en los procesos de simulación de transporte, es importante mencionar que la zonificación definida para el presente estudio contempla la totalidad de la ciudad de Chihuahua.

La subdivisión del área de estudio partió del análisis básico de la información existente al año 2000 a nivel de Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEBS), ya que son las

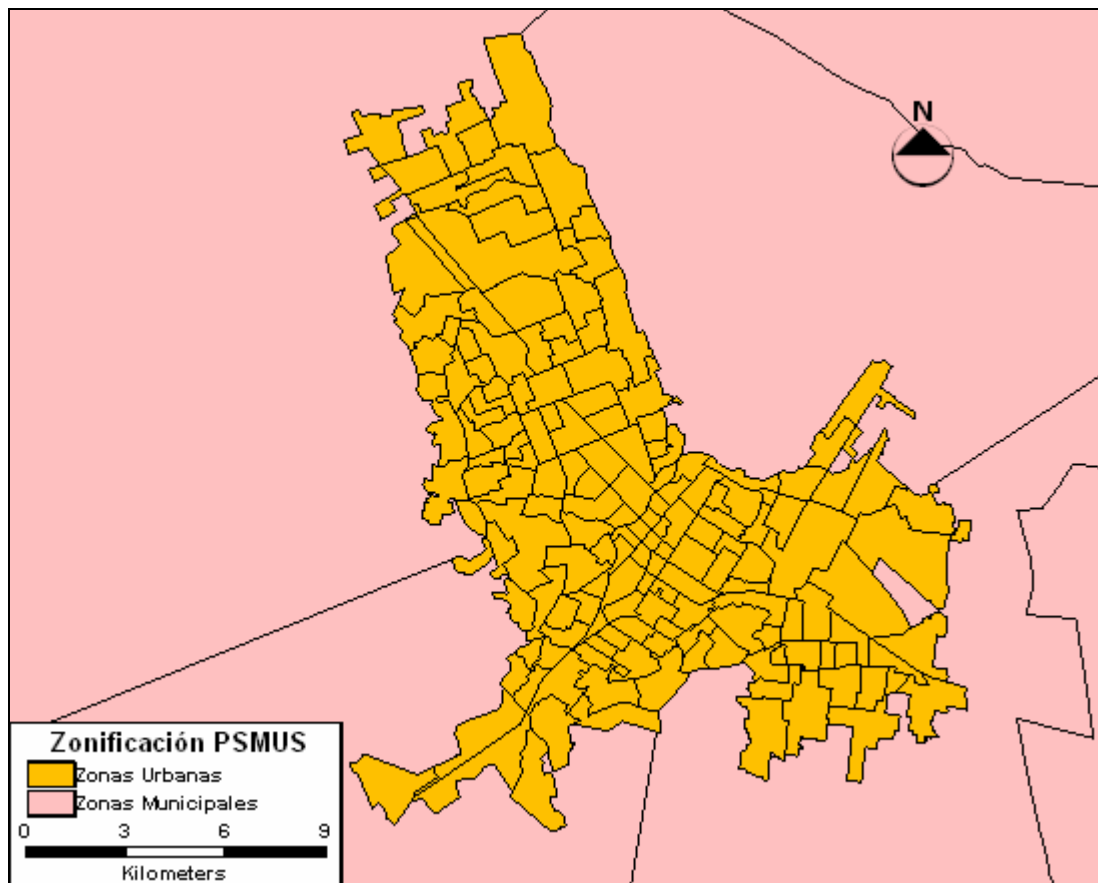
unidades geográficas mínimas para las cuales existen publicaciones oficiales en donde se proporcionan datos socioeconómicos.

La conformación de cada zona de tránsito definida, se realizó agregando AGEBS homogéneos en cuanto a nivel de ingreso y población residente, en la zona urbana.

Otro criterio para la creación de la zonificación, fue tener agrupaciones de AGEBS consistentes en su ubicación geográfica con respecto a la red vial de oferta y de rutas de transporte público, con el fin de representar correctamente los movimientos de ingreso y salida de los usuarios del transporte. De esta manera, se definieron 213 zonas de tránsito para la zona urbana de la ciudad de chihuahua.

En la Figura 4.12 se presenta la ubicación espacial de la zonificación definida para la parte urbana de la ciudad.

Figura 4.12 Zonas de transito definidas para la parte urbana de la ciudad de Chihuahua



Fuente: Elaboración propia

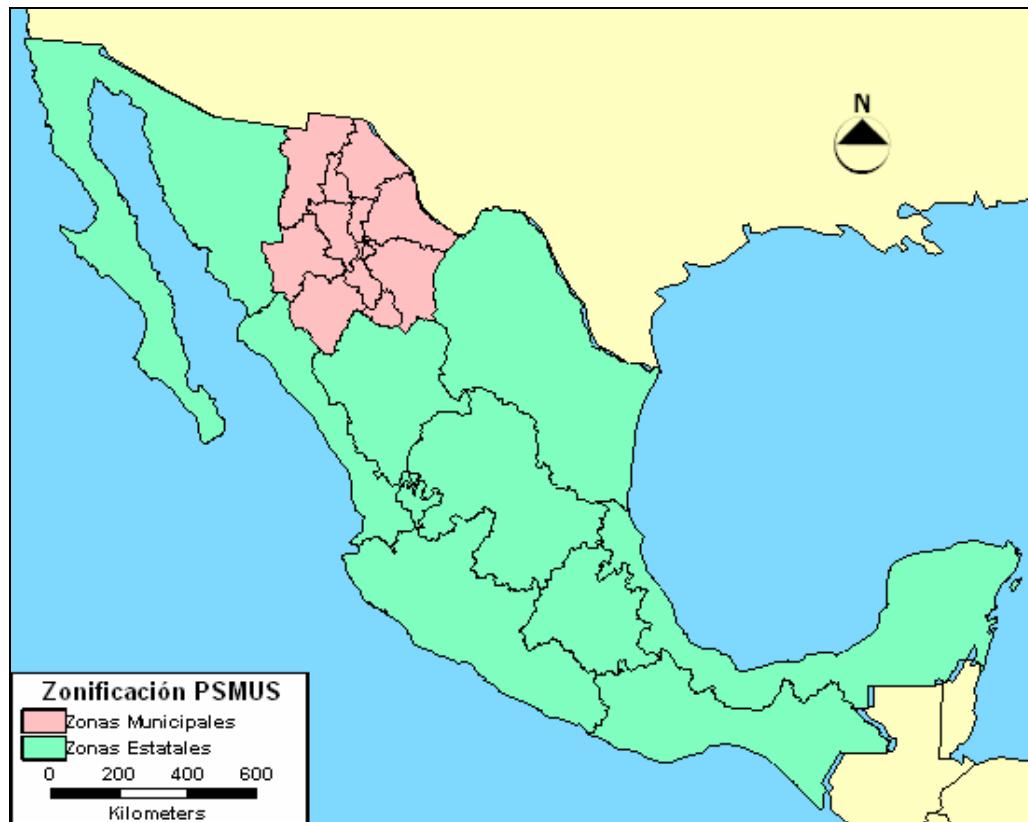
Adicionalmente a las zonas urbanas, se generaron 3 tipos de zonas adicionales. Las primeras, corresponden a cuatro zonas que representan a las partes rurales de l municipio de Chihuahua, las cuales están ubicadas al: norte, surponiente, suroriente y oriente de la mancha urbana.

Un tercer tipo de zona, se conformó mediante la agrupación del resto de municipios del estado de Chihuahua. Se conformaron zonas, agregando municipios ubicados sobre el mismo corredor carretero de acceso/salida a la ciudad de Chihuahua.

Finalmente, usando el mismo concepto de agrupación sobre corredores carreteros de comunicación con el municipio de Chihuahua, se generaron zonas compuestas por agrupaciones del resto de los estados de la república.

En la Figura 4.13, se muestra la zonificación completa definida para el estudio.

Figura 4.13 Zonificación completa del estudio



Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el proceso de zonificación, es necesario representar cada una de las zonas de tránsito generadas, mediante un solo centroide, el cual se conecta a las redes de transporte por medio de enlaces virtuales denominados conectores de centroide.

Aunque no existen reglas específicas para determinar el número de conectores de centroide o la localización de estos, el punto donde el conector se intercepta con los enlaces de la red de transporte, debe representar el lugar donde los viajes entran o salen de la oferta de transporte. Esta conectividad es fundamental para el análisis y representación del área de estudio.

Es conveniente hacer una introducción mencionando que el Emme/2 es un sistema de simulación orientado a la planificación de transporte multimodal urbano y regional. Ofrece al planificador un conjunto de herramientas detallado y flexible para el análisis y modelación de la demanda, así como para el análisis y evaluación de redes.

Este sistema provee un marco general apoyado por una interface gráfica para la implantación de una amplia variedad de procedimientos de estimación de la demanda futura. Los procedimientos pueden ir desde una estructura convencional de modelación en “cuatro etapas” hasta procedimientos más elaborados a través de funciones de demanda directa con asignación de vehículos y pasajeros al transporte público.

El sistema es utilizado para el soporte de decisiones, provee procedimientos uniformes y eficientes para el manejo de la información, incluyendo la validación de datos. Adicionalmente da herramientas para la descripción simultánea, análisis y comparación de diversos escenarios que se estén analizando.

El Emme/2 puede usarse para una amplia gama de aplicaciones relacionadas con la planeación de transporte, desde estudios de autopistas interurbanas hasta estudios de rutas urbanas, de transporte público y de transporte multimodal. Algunos ejemplos de las posibilidades de análisis y modelos son:

- Cambios en la infraestructura de la red de tránsito/tráfico y en las características socioeconómicas.
- Cambios a corto y largo plazo en los servicios de transporte.
- Impacto ambiental y consumo de energía.
- Restricciones de tráfico y privilegios; Carriles exclusivos para transporte público, etc.
- Impacto de peajes (a nivel urbano, regional o nacional).
- Aislamiento de subareas.

Una vez inducido de manera general el marco teórico del paquete de cómputo, en las siguientes secciones se hace una descripción de los bancos de datos construidos sobre él para la representación las condiciones actuales (año 2006) del transporte privado y público de Chihuahua.

4.2.1 Modelo de transporte privado

A continuación se describe el contenido básico de los principales componentes del banco de datos desarrollado en Emme/2, para la simulación del estado actual del

sistema de transporte privado de Chihuahua. La información descrita es resultado de los procesos explicados en los diferentes apartes que conforman el presente documento.

4.2.1.1 *Modos*

Específicamente, para el modelo un modo es una manera particular de transportarse que tiene sus propias características, tales como tipo de vehículo, capacidad, costo, funciones de demora, etc.

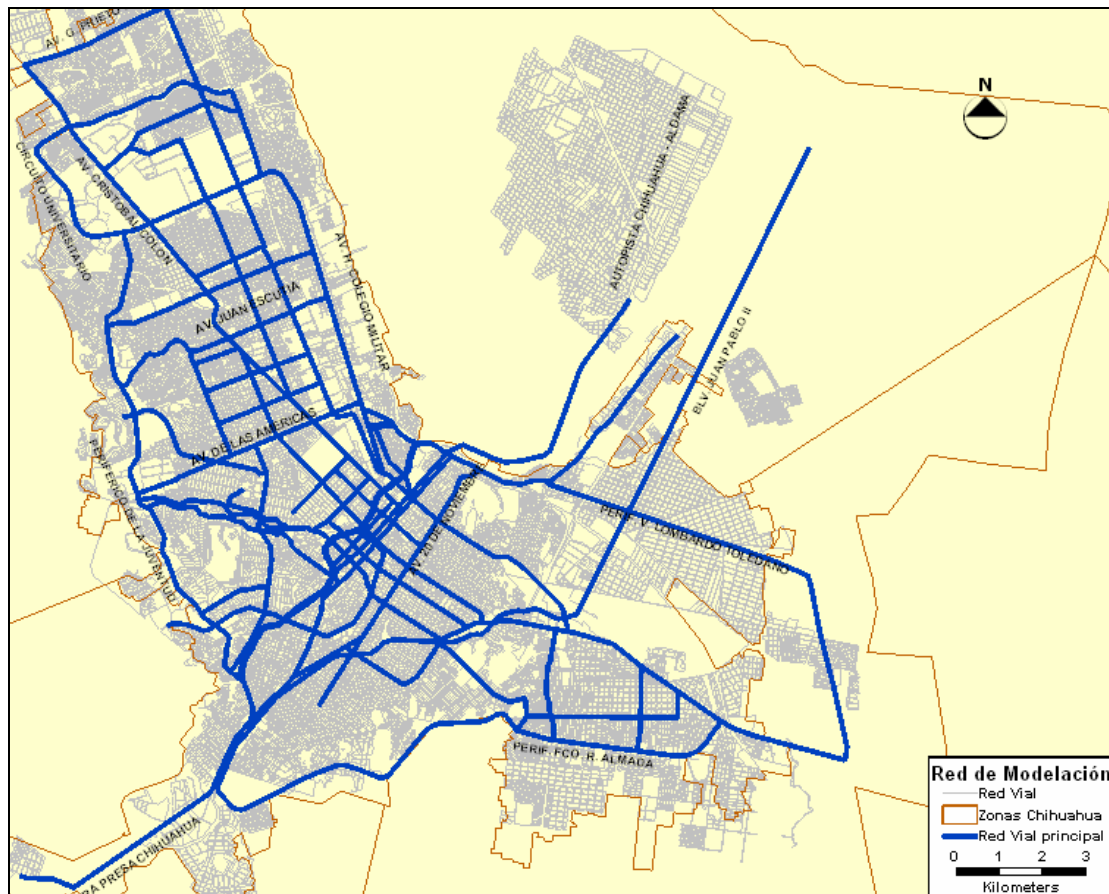
En el caso particular del análisis de la demanda del transporte privado, solamente se requirió definir un único modo de transporte, denotado con la letra “a”.

4.2.1.2 *Red vial (nodos y enlaces)*

Para este estudio, la tarea de incorporación de la red de modelación con sus nodos y enlaces respectivos al Emme/2 se hizo a través de procesos previos de caracterización en el sistema de información geográfica TransCAD.

La red vial seleccionada, se encuentra conformada por la totalidad de las vías que son utilizadas por las rutas de transporte público y por las calles que sirven al transporte privado para la conformación de corredores para su desplazamiento, bien sea de carácter principal y/o local. En la Figura 4.15, se muestra la red vial considerada para el proceso de modelación.

Figura 4.15 Red vial de modelación



Fuente: Elaboración propia

La información física y operativa tomada en cuenta en cada uno de los enlaces que conforman la red, fue la siguiente:

- Longitud del tramo vial.
- Velocidad a flujo libre sobre el tramo, de acuerdo al tipo de vía.
- Sentido de circulación
- Numero de carriles por sentido de circulación.
- Capacidad vial efectiva por sentido de circulación.

Para la representación de los 787.24 Km la red vial actual del sistema de transporte privado, se definieron 1,435 nodos regulares y 4,636 enlaces unidireccionales.

Adicionalmente es importante mencionar que cada una de las 273 zonas definidas, se encuentra representada por un nodo especial denominado centroide.

4.2.1.3 Matrices de demanda

La demanda del transporte privado será considerada en términos de vehículos de transporte. Esta demanda se manejará en una única categoría, es decir, sin considerar segmentaciones por conceptos tales como motivos de viaje y/o niveles de ingreso.

Las matrices empleadas para el análisis del transporte privado, corresponderán a las corregidas por conteos.

4.2.1.4 Funciones de costo

Para este estudio en particular se definieron funciones de tipo cónicas, cuya conveniencia para análisis bajo condiciones de congestión como la que se presentan en los periodos pico, ha sido ampliamente comprobada en estudios de carácter urbano. La estructura de las funciones volumen-demora cónicas es la siguiente:

$$f(v) = t_0 * \left(2 + \sqrt{\alpha^2 (1-x)^2 + \beta^2} - \alpha(1-x) - \beta \right)$$

$$x = \frac{v}{c}$$

$$\beta = \frac{2\alpha - 1}{2\alpha - 2}$$

donde:

t_0 : Tiempo de viaje a flujo libre.

α : Rata de descenso de la velocidad.

v: Volumen circulante sobre la vía.

c: Capacidad de la vía.

4.2.2 Modelo de transporte público

De la misma forma que para el transporte privado, a continuación se describen los principales elementos que componen el banco de datos del sistema actual de transporte público de la ciudad, elaborado sobre el software de planeación Emme/2.

4.2.2.1 Modos

Para el transporte público, se analizaron las rutas del sistema tomando como criterio las condiciones de operación de las mismas tanto a nivel individual como desde el punto de vista general.

De esta manera solo se consideró necesario definir dos modos de transporte público: líneas urbanas y líneas interurbanas.

4.2.2.2 Red vial (nodos y enlaces)

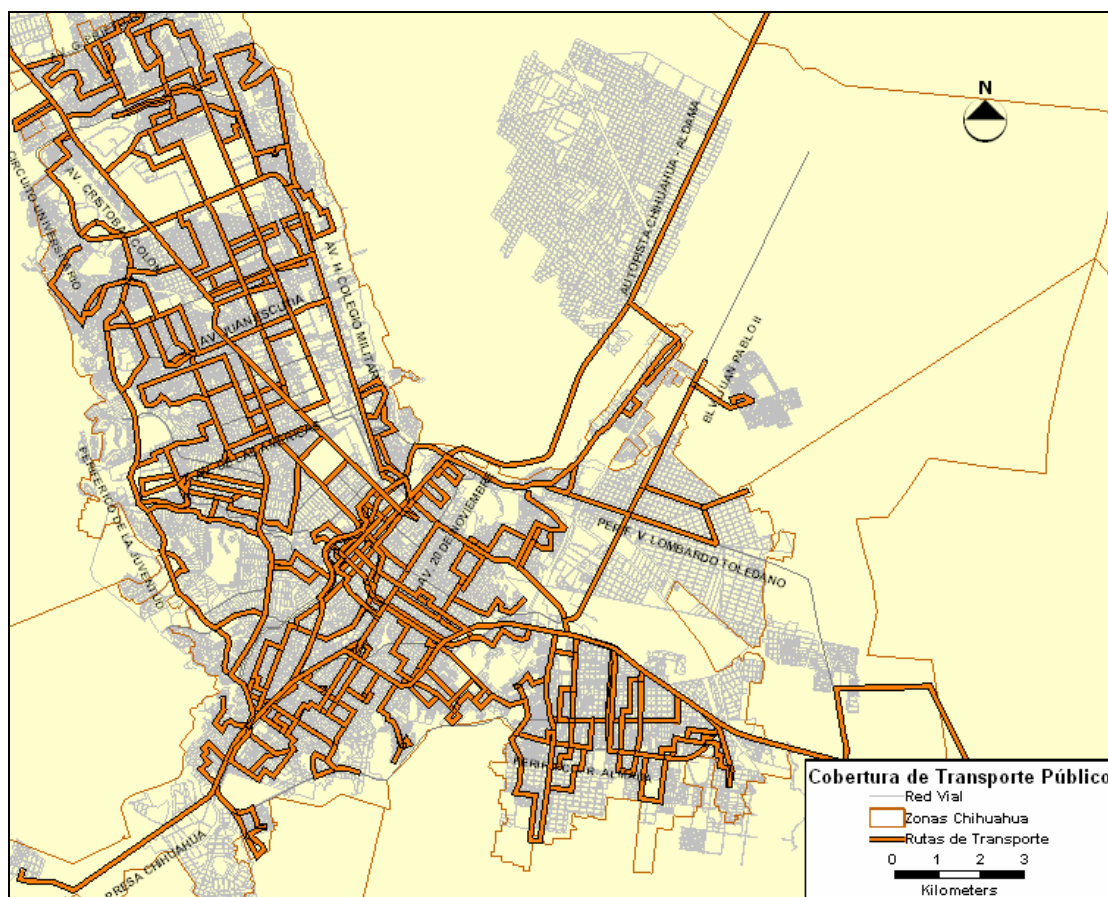
La red vial para la simulación del transporte público, se encuentra basada conceptualmente en la descrita para el transporte privado en el capítulo 4.2.1.2.

4.2.2.3 Rutas de transporte público

Las rutas de transporte público fueron digitalizadas y caracterizadas a partir de información levantada directamente en campo.

Como se mencionó en el capítulo 4.1.1.2, el sistema de transporte está conformado por la totalidad de las rutas que prestan el servicio de transporte urbano e intermunicipal.

Figura 4.16 Rutas de transporte colectivo actual



Fuente: Elaboración propia

4.2.2.4 Matrices de demanda

Las matrices de viajes en transporte público se consideraron según un análisis de categoría de la siguiente manera:

- Viajes con motivo trabajo de usuarios de nivel de ingreso bajo.
- Viajes con motivo trabajo de usuarios de nivel de ingreso medio.
- Viajes con motivo trabajo de usuarios de nivel de ingreso alto.

- Viajes con motivo estudio de usuarios de nivel de ingreso bajo.
- Viajes con motivo estudio de usuarios de nivel de ingreso medio.
- Viajes con motivo estudio de usuarios de nivel de ingreso alto.
- Viajes con otros motivos diferentes a trabajo y estudio.

Las matrices empleadas para la simulación del transporte, corresponderán a las resultantes del proceso de corrección por conteos.

4.2.2.5 Funciones de costo

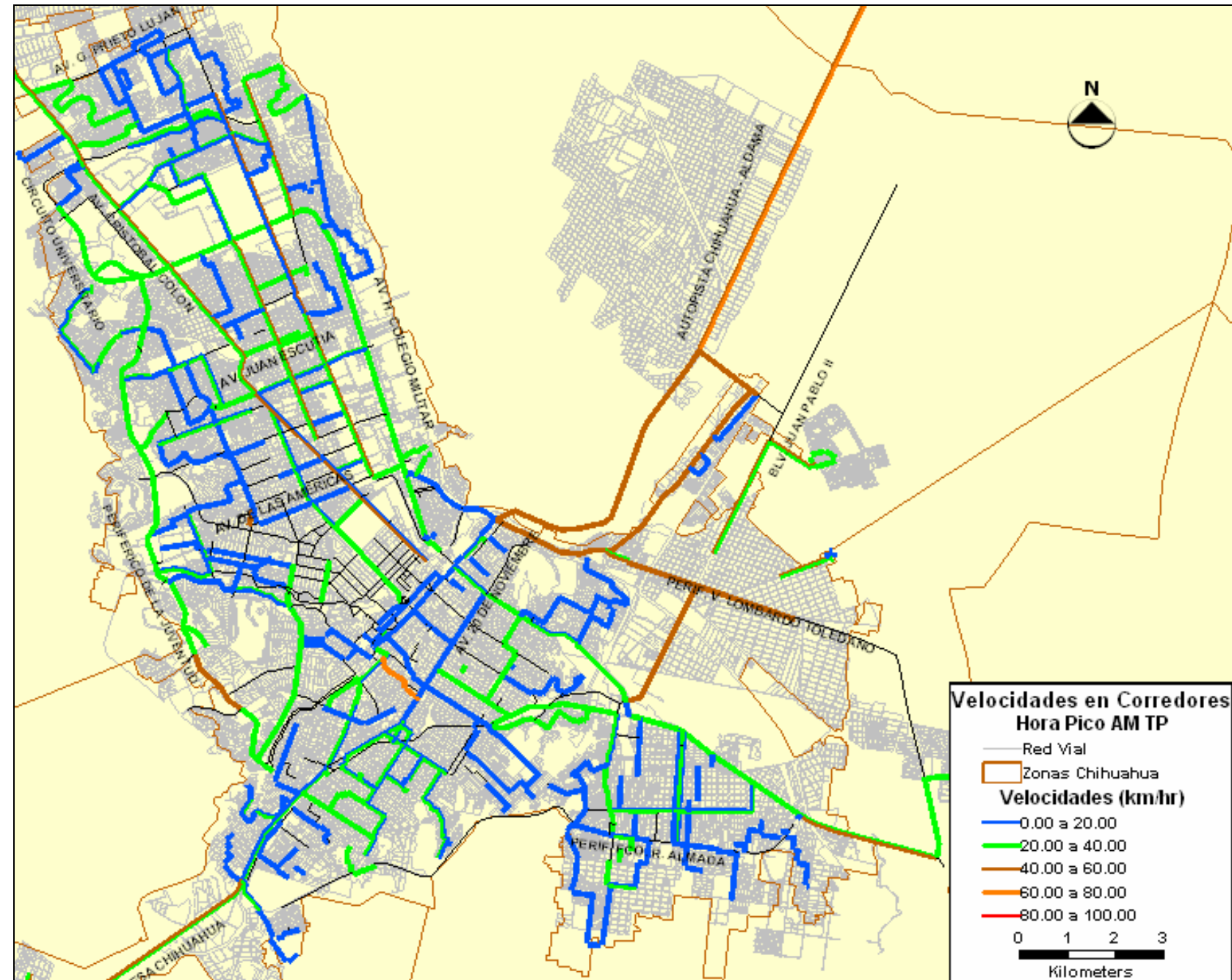
En el algoritmo adoptado por Emme/2 para la asignación del transporte público, los usuarios buscan una serie de estrategias, o sea, combinaciones entre los diversos modos y servicios disponibles para realizar sus viajes con el menor costo generalizado posible.

Si bien el tiempo de viaje a bordo de las unidades de transporte, hace parte del costo generalizado de la estrategia, este concepto permanece constante a lo largo del proceso de asignación del modo público. Lo anterior es contrario a la asignación del transporte privado, en la cual el tiempo de viaje dentro del vehículo es una variable del proceso de optimización.

Por esta razón, las funciones que estiman el tiempo de viaje a bordo de la unidad se dividieron en dos casos.

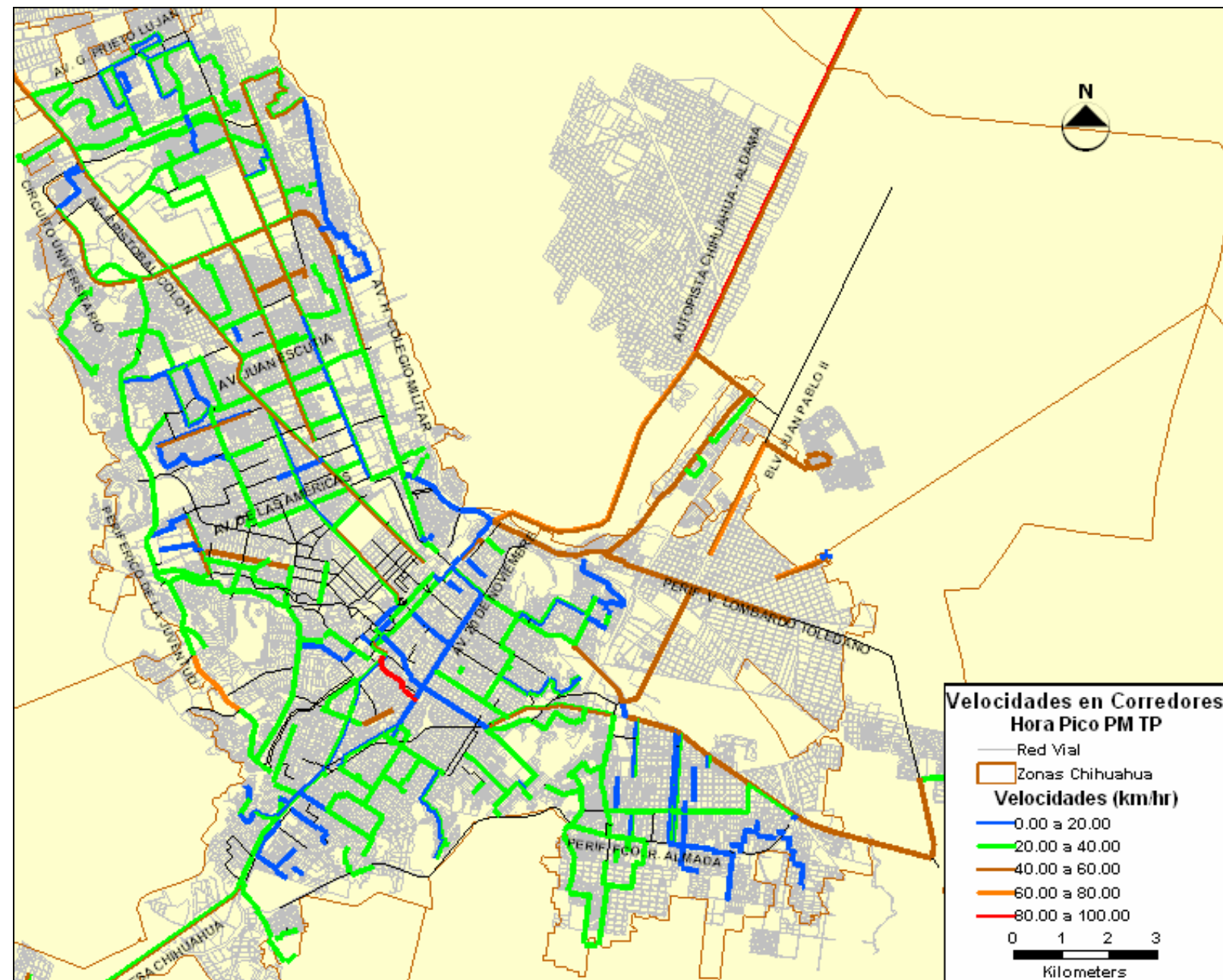
En el primero, se consideró la red sobre la cual se realizaron los estudios de tiempos de recorrido a bordo de las unidades. En este caso las rutas que transitan sobre esta red, tomaron el tiempo promedio de viaje estimado para cada tramo a partir de los estudios de campo. En la Figura 4.17 y la Figura 4.18, se presentan las velocidades promedio del transporte público en cada uno de los periodo definidos para la simulación. Lo anterior sobre la red de oferta considerada para los estudios de campo en cada caso.

Figura 4.17 Velocidades medias del transporte público. Periodo de máxima demanda de la mañana



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18 Velocidades medias del transporte público. Periodo de máxima demanda de la tarde



Fuente: Elaboración propia

En el otro caso, es decir, en aquellos segmentos en los cuales no se tuvieron tiempos de recorrido por falta de cobertura de la muestra de rutas seleccionada, se tomaron supuestos para asignar el tiempo de viaje a los vehículos del transporte público. En este caso el tiempo de viaje a bordo de las unidades de transporte público se determinó en función de los tiempos de los automóviles. Los supuestos se establecieron de manera diferencial de acuerdo a la aproximación radial hacia el centro de la ciudad y otras áreas de congestión.

La fuente de tiempos de los automóviles en aquellos tramos en los que faltó información de tiempos de recorrido, fue el modelo calibrado de transporte privado.

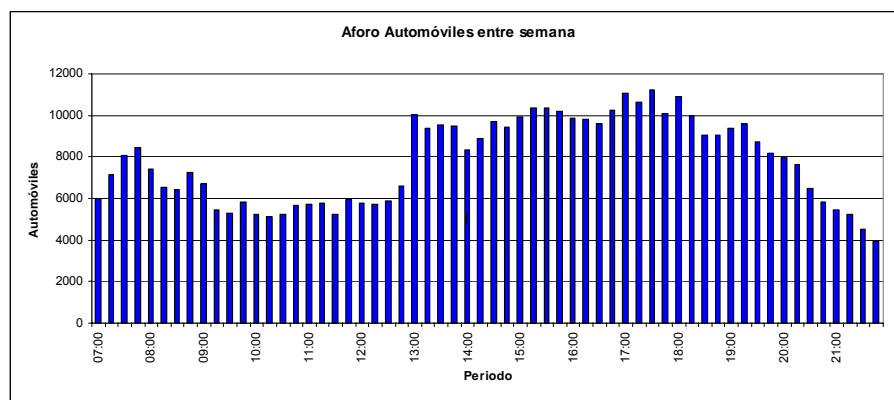
4.3 DEFINICIÓN DEL PERIODO DE MODELACIÓN

Con el fin de realizar los análisis del transporte bajo las condiciones más críticas prevalecientes en la ciudad, se decidió efectuar la modelación de los sistemas para los periodos de máxima demanda de la mañana y de la tarde.

Para determinar los periodos pico, se construyeron histogramas acumulados de volúmenes vehiculares y de pasajeros a partir de los resultados obtenidos en los estudios de conteos de tráfico y de ocupación visual y frecuencias de paso.

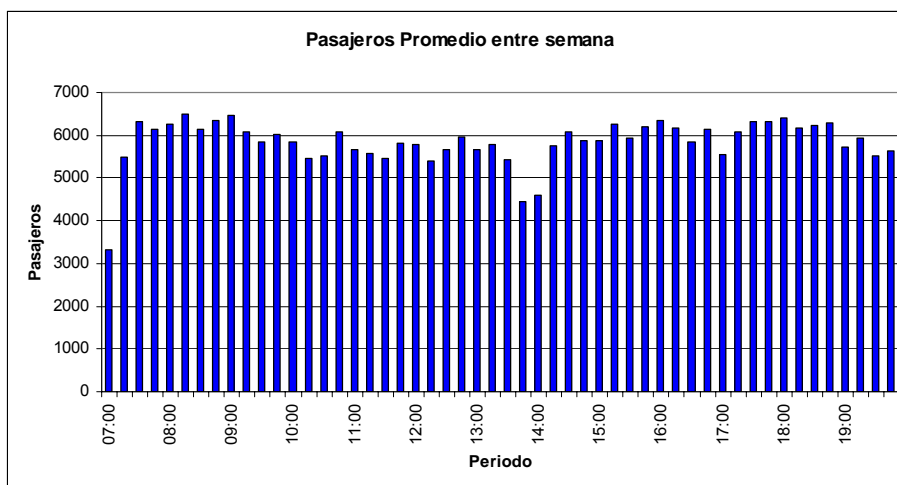
En la Figura 4.19 y la Figura 4.20, se muestran respectivamente los histogramas acumulados para vehículos del transporte privado y para pasajeros en transporte público.

Figura 4.19 Histograma acumulado de automotores privados en los puntos de conteo vehicular



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20 Histograma acumulado de pasajeros en los puntos de frecuencia y ocupación visual



Fuente: Elaboración propia

De los histogramas, no se advierte explícitamente una sola hora pico en cada uno de los periodos, sino periodos sostenidos de mayor movilización en medios motorizados de transporte público y privado. De acuerdo con este comportamiento, se determinó no limitar el análisis a una sola hora, comprometiendo la exclusión de patrones de movilidad importantes que se presentan en las inmediaciones de la hora de máxima demanda. Se precisó entonces considerar los periodos de dos horas con mayor movilización de pasajeros en transporte privado y público así:

- Periodo de la mañana: de las 7:15 horas a las 9:15 horas.
- Periodo de la tarde: de las 16:00 horas a las 18:00 horas.

4.4 VALIDACIÓN Y CORRECCION DE LA DEMANDA ACTUAL EHODCH

Las matrices de viaje para el año base 2006, fueron el resultado en cada periodo de modelación (pico de la mañana y pico de la tarde) de las encuestas domiciliarias realizadas en la ciudad.

Con las encuestas recabadas en una base de datos, se efectuó un proceso de corrección y expansión de la muestra. El procedimiento que se detalla en el documento

de Diagnóstico de la Movilidad, tiene como objetivo garantizar que las distribuciones de sexo y edad, sean iguales en la muestra que en la población (censo actualizado a 2006).

Luego de transformar los resultados de las encuestas en matrices de viajes, normalmente se encuentran algunas inconsistencias respecto a los flujos vehiculares y de pasajeros que se han observado en pantallas de ingreso y salida de los principales centros atractores y generadores de viajes, durante los periodos de simulación.

De acuerdo con lo anterior fue necesario aplicar una metodología numérica que permitiera realizar una última corrección utilizando información adicional de los conteos.

4.4.1 Metodología empleada

Antes de describir el detalle de la técnica de corrección empleada para las matrices, conviene hacer de manera muy general la explicación básica de la metodología. Los volúmenes de usuarios (vehiculares o de pasajeros) pueden ser interpretados como la combinación de dos elementos; una matriz de OD y un patrón de selección de rutas por los viajeros en la red vial. Estos dos elementos pueden estar linealmente relacionados con los volúmenes de tráfico, pero bajo circunstancias normales; nunca habrá suficientes conteos para identificar una sola matriz como la única fuente de los flujos observados. Los conteos por si solos no son suficientes para estimar una matriz O-D; es necesario algo más.

La metodología adoptada para conseguir aproximarse hacia la obtención de matrices de demanda que se ajusten a las mediciones tomadas en campo para cada periodo de modelación, se basó en el uso de modelos de transporte, procurando reproducir el patrón de viaje de la matriz original obtenido a través de la encuesta de movilidad. En este caso, la corrección de las matrices es obtenida utilizando un principio que refleja la capacidad de definir en un lugar determinado el patrón de viajes que tiene la mayor probabilidad de ocurrir, dado el estado actual del conocimiento que se tiene de la demanda y de las condiciones que ésta debe cumplir en cuanto a generación de volúmenes de tránsito.

Una vez expuestas las bases generales, se explica a continuación el detalle de la metodología específica que se aplicó para la corrección de las matrices de viajes en transporte privado y público en la ciudad. Es importante mencionar que en los dos casos se aplicó la misma base metodológica, naturalmente con las condiciones propias de cada sistema de transporte.

Para la corrección de las matrices del transporte privado, se desarrolló una metodología fundamentada en la aplicación de factores de ajuste a la submatriz de usuarios que pasan por cada uno de los puntos de control ubicados sobre la red vial, de tal manera que esta alcance la magnitud del aforo observado en campo.

Al aplicarse un solo factor de ajuste para toda la submatriz de viajes que transitan por cada punto de control, se mantiene en escala el patrón de viajes que tiene la mayor probabilidad de ocurrencia (movilización original de la encuesta de movilidad). Este procedimiento fue aplicado sobre la totalidad de los 133 puntos seleccionados con información de conteos, aclarando que para una misma ubicación geográfica cada sentido de circulación es un punto de control independiente.

Se debe precisar que para el presente estudio es de interés obtener del transporte privado, los tiempos de recorrido sobre cada uno de los tramos de la red vial, los cuales se derivan de la asignación de una matriz vehicular de este tipo de transporte. De esta manera la matriz tomada como base para el proceso de ajuste, fue el resultado de la transformación a vehículos de los viajes en transporte privado, utilizando la tasa promedio de ocupación vehicular de la zona de origen, la cual se calculó para cada periodo de modelación mediante los datos proporcionados por la encuesta de movilidad.

En la Figura 4.21, se presenta ubicación espacial de los puntos de aforo de vehículos ligeros.

Figura 4.21 Ubicación de los puntos de aforo de automóviles.



Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la demanda del transporte público, la corrección de las matrices de viajes en los periodos de máxima demanda se realizó siguiendo la misma base metodológica empleada en el ajuste de las matrices de vehículos del transporte privado.

En este caso los puntos de control se refieren al volumen total de pasajeros que pasan por una sección de vía. Los datos utilizados fueron los resultados obtenidos en cada periodo de los estudios de frecuencia y ocupación visual, desarrollados como parte del presente estudio.

En total se emplearon para el ajuste 36 puntos de control de volúmenes de pasajeros del transporte público, los cuales se presentan en la Figura 4.22.

Figura 4.22 Ubicación de puntos de control de volúmenes de pasajeros del transporte público



Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Resultados obtenidos

Una vez explicada la metodología empleada para la corrección de las matrices de transporte privado y público, en el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos en cada caso.

4.4.2.1 Matrices del transporte privado

Una vez aplicado el proceso de corrección de las matrices de automóviles con base en conteos, se deduce que los ciclos de salida de los viajes requirieron mayor corrección en el periodo de la tarde que en la mañana. En la jornada de la tarde, se partió de una demanda total de viajes en automóvil menor a la magnitud general observada en el sistema. Esta demanda arrojó en los procesos iniciales déficit generalizado respecto a

los volúmenes observados en campo durante el periodo. Lo anterior posiblemente se deba a distorsiones en el muestreo, a captación de encuestas con concentración de viajes en otros periodos adyacentes.

En la Tabla 4.4 se muestra para cada periodo de modelación, las dimensiones de las matrices de viajes totales en automóvil tanto del reporte original de la encuesta de movilidad como de las resultantes de la aplicación del proceso de corrección.

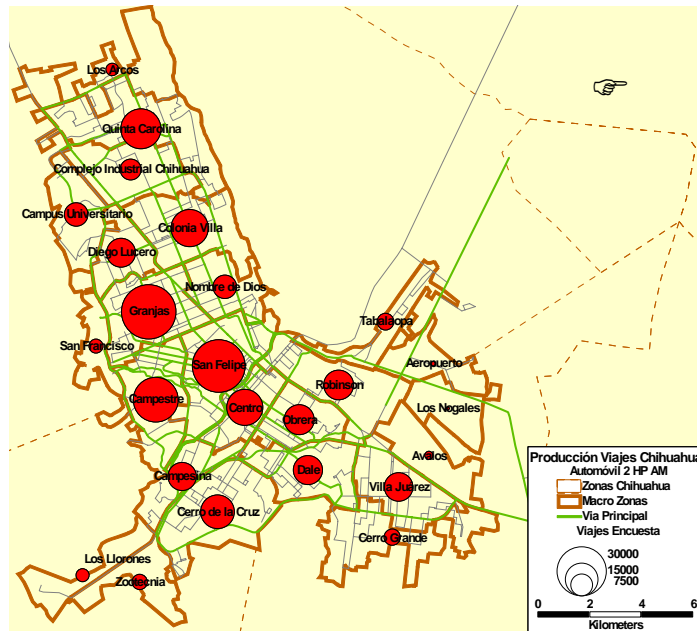
Tabla 4.4 Viajes totales en transporte privado antes y después de los procesos de corrección por conteos

Periodo	Viajes Encuesta Movilidad	Viajes Corregidos
2 HMD de la Mañana	291,455	329,490
2 HMD de la Tarde	153,128	247,976

Fuente: Elaboración propia

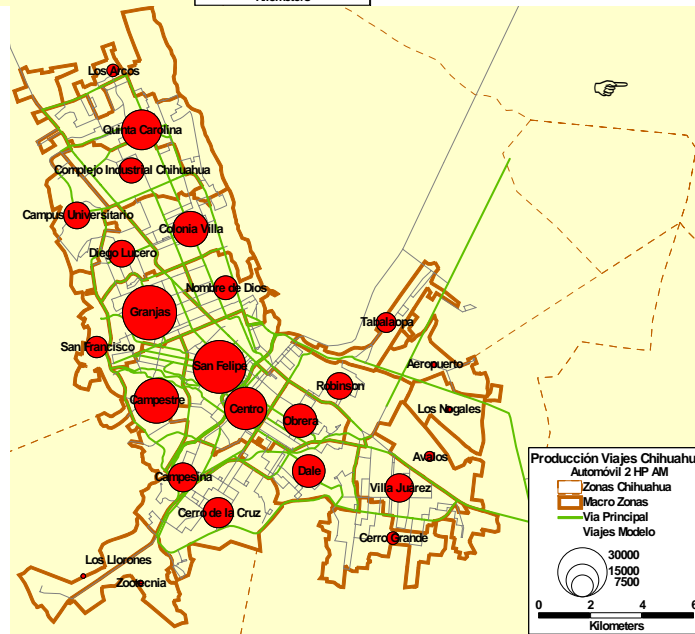
Otro tipo de observación para analizar los resultados de la corrección de las matrices a través de conteos, se presenta a continuación en la Figura 4.23 y la Figura 4.24, en las cuales se presenta una comparación de los niveles de producción de viajes en automóvil de la matriz total originalmente estimada de la encuesta de movilidad y la obtenida al final del proceso de corrección. Lo anterior por periodo de modelación, se esboza a nivel de macrozonas (ver documento de Diagnóstico de la Movilidad), las cuales fueron definidas para facilitar los análisis de los resultados de origen y destino.

Figura 4.23 Comparación de la distribución por macrozona del total de viajes producidos en automóvil en el periodo de máxima demanda de la mañana. Matriz original de la encuesta de movilidad Vs Matriz corregida con datos de tránsito



Producción Viajes EM
Automóvil 2 HMD am

Producción Viajes
Corregidos Automóvil 2
HMD am



Fuente: Elaboración propia

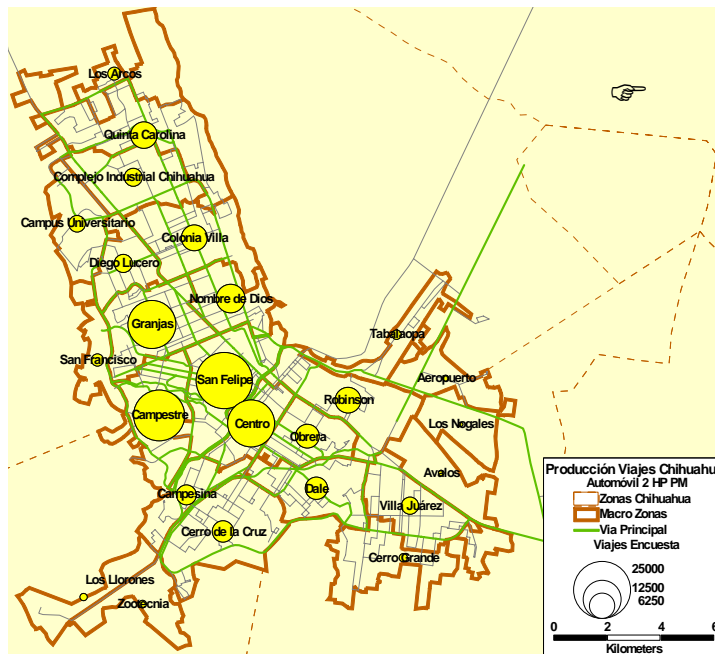
Se observa que la mayor intensidad de producciones de viaje se mantiene en las macrozonas de San Felipe, Granjas y Campestre, obteniéndose un aumento moderado en la macrozona Centro producto de la corrección.

En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos de la encuesta y los obtenidos del ajuste. Es importante resaltar que el patrón de comportamiento se mantiene, es decir el porcentaje de participación de cada zona respecto del total de viajes antes y después del ajuste es similar. Esto a pesar de que el ajuste genera algunas diferencias en cuanto a la cantidad de viajes en cada zona.

Tabla 4.5 Comparación de viajes producidos en automóvil. Periodo pico AM

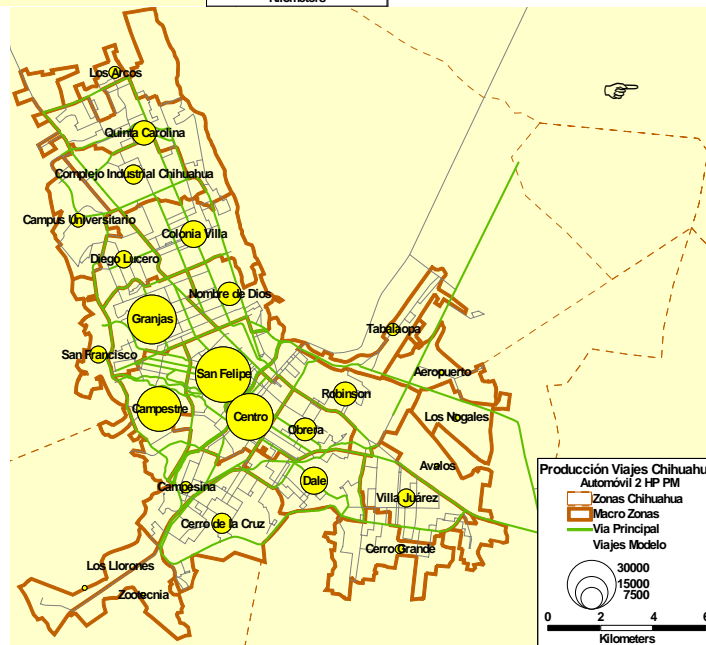
Producción		Viajes		% de participación respecto al total de viajes	
Id	Nombre	Encuesta	Modelo	Encuesta	Modelo
1	Los Arcos	2,990	2,627	1.0%	0.8%
2	Quinta Carolina	21,107	22,765	7.2%	6.9%
3	Complejo Industrial Chihuahua	7,011	11,359	2.4%	3.4%
4	Campus Universitario	8,526	12,322	2.9%	3.7%
5	Diego Lucero	12,097	11,741	4.2%	3.6%
6	Colonia Villa	18,534	16,268	6.4%	4.9%
7	San Francisco	3,601	7,150	1.2%	2.2%
8	Granjas	35,621	35,745	12.2%	10.8%
9	Nombre de Dios	8,549	9,608	2.9%	2.9%
10	Campestre	25,502	26,885	8.7%	8.2%
11	San Felipe	33,658	40,066	11.5%	12.2%
12	Los Llorones	3,191	629	1.1%	0.2%
13	Campesina	11,548	11,808	4.0%	3.6%
14	Centro	17,670	29,652	6.1%	9.0%
15	Robinson	12,651	12,885	4.3%	3.9%
16	Tabalaopa	4,812	5,967	1.7%	1.8%
17	Zootecnia	4,154	792	1.4%	0.2%
18	Cerro de la Cruz	15,690	13,087	5.4%	4.0%
19	Dale	12,223	17,277	4.2%	5.2%
20	Obrera	12,891	21,523	4.4%	6.5%
21	Aeropuerto	601	943	0.2%	0.3%
22	Los Nogales	389	1,067	0.1%	0.3%
23	Avalos	1,517	1,906	0.5%	0.6%
24	Villa Juárez	11,766	11,185	4.0%	3.4%
25	Cerro Grande	4,605	2,356	1.6%	0.7%
301	Salida a Cd. Juárez	35	106	0.0%	0.0%
302	Salida a Cuauhtemoc	152	11	0.1%	0.0%
303	Salida a Delicias	136	726	0.0%	0.2%
304	Salida a Aldama	226	1,034	0.1%	0.3%
315	Aeropuerto	2	0	0.0%	0.0%
Total general		291,455	329,491		

Figura 4.24 Comparación de la distribución por macrozona del total de viajes producidos en automóvil en el periodo de máxima demanda de la tarde. Matriz original de la encuesta de movilidad Vs Matriz corregida con datos de tránsito



Producción Viajes EM
Automóvil 2 HMD pm

Producción Viajes
Corregidos Automóvil 2
HMD pm



Fuente: Elaboración propia

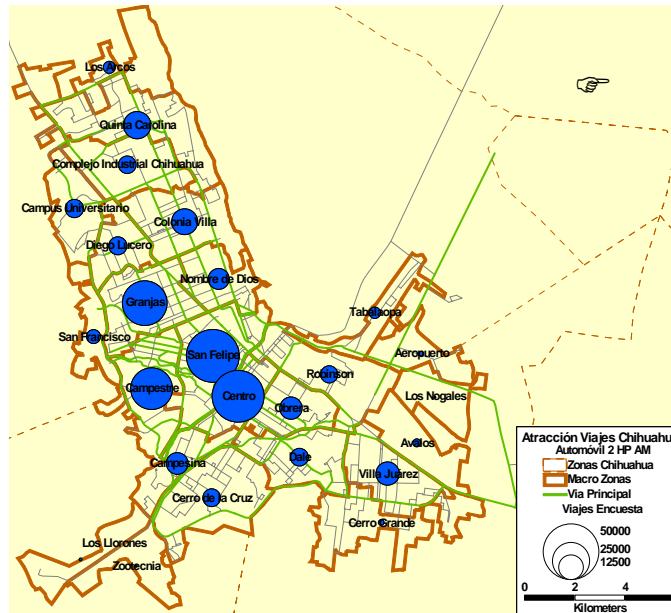
Tabla 4.6 Comparación de viajes producidos en automóvil. Periodo pico PM

Producción		Viajes		% de participación respecto al total de viajes	
Id	Nombre	Encuesta	Modelo	Encuesta	Modelo
1	Los Arcos	2,062	3,442	1.3%	1.4%
2	Quinta Carolina	6,718	9,676	4.4%	3.9%
3	Complejo Industrial Chihuahua	3,522	7,235	2.3%	2.9%
4	Campus Universitario	3,053	3,771	2.0%	1.5%
5	Diego Lucero	3,628	5,641	2.4%	2.3%
6	Colonia Villa	6,462	12,715	4.2%	5.1%
7	San Francisco	1,877	3,296	1.2%	1.3%
8	Granjas	18,524	32,917	12.1%	13.3%
9	Nombre de Dios	7,698	8,794	5.0%	3.5%
10	Campestre	20,573	26,416	13.4%	10.7%
11	San Felipe	24,383	40,040	15.9%	16.1%
12	Los Llorones	824	746	0.5%	0.3%
13	Campesina	4,165	3,219	2.7%	1.3%
14	Centro	17,879	30,166	11.7%	12.2%
15	Robinson	6,365	9,089	4.2%	3.7%
16	Tabalaopa	1,243	2,921	0.8%	1.2%
17	Zootecnia	883	756	0.6%	0.3%
18	Cerro de la Cruz	4,642	8,222	3.0%	3.3%
19	Dale	5,085	10,847	3.3%	4.4%
20	Obrera	5,626	11,871	3.7%	4.8%
21	Aeropuerto	599	805	0.4%	0.3%
22	Los Nogales	394	1,635	0.3%	0.7%
23	Avalos	566	897	0.4%	0.4%
24	Villa Juárez	3,310	5,773	2.2%	2.3%
25	Cerro Grande	1,004	1,516	0.7%	0.6%
301	Salida a Cd. Juarez	416	451	0.3%	0.2%
302	Salida a Cuauhtemoc	461	62	0.3%	0.0%
303	Salida a Delicias	131	1,296	0.1%	0.5%
304	Salida a Aldama	599	2,865	0.4%	1.2%
308	Externa Municipal	9	35	0.0%	0.0%
310	Externa Municipal	147	118	0.1%	0.0%
313	Externa Municipal	53	32	0.0%	0.0%
314	Externa Municipal	26	66	0.0%	0.0%
315	Aeropuerto	171	353	0.1%	0.1%
316	Aquiles Serdán	30	293	0.0%	0.1%
Total general		153,128	247,977		

Si bien como se comentó anteriormente, el proceso de corrección por datos de tránsito de la demanda en automóvil del periodo de la tarde, requirió expandir el orden de magnitud de la demanda originalmente obtenida de la encuesta de movilidad, se observa que el patrón de producción de los viajes se mantuvo adecuadamente, consistiendo la expansión básicamente en un cambio de escala de la estructura original.

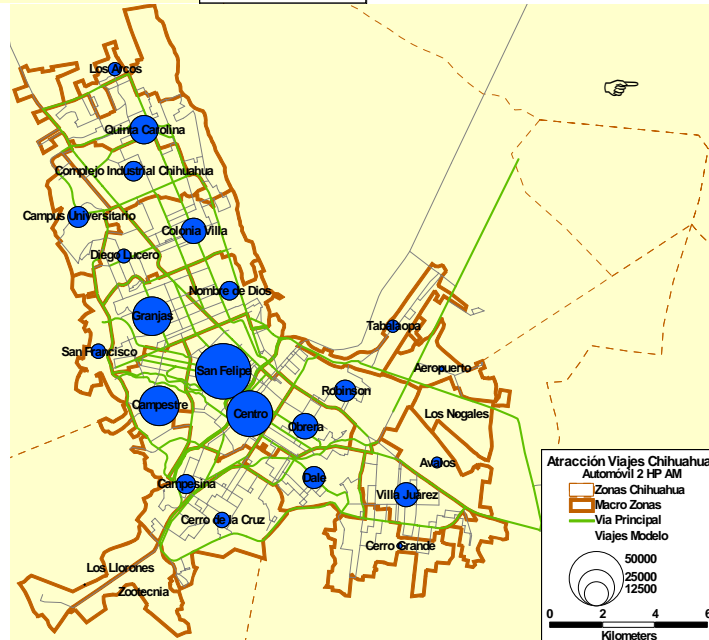
De la misma manera que para los orígenes de viaje, en la Figura 4.25 y la Figura 4.26 se exponen comparativamente los niveles de atracción a nivel de macrozonas de la matriz original de la encuesta de movilidad respecto a la obtenida con la corrección por datos de tránsito, para el periodo de la mañana y de la tarde respectivamente.

Figura 4.25 Comparación de la distribución por macrozona del total de viajes atraídos en automóvil en el periodo de máxima demanda de la mañana. Matriz original de la encuesta de movilidad Vs Matriz corregida con datos de tránsito



Atracción Viajes EM
Automóvil 2 HMD am

Atracción Viajes
Corregidos Automóvil 2
HMD am



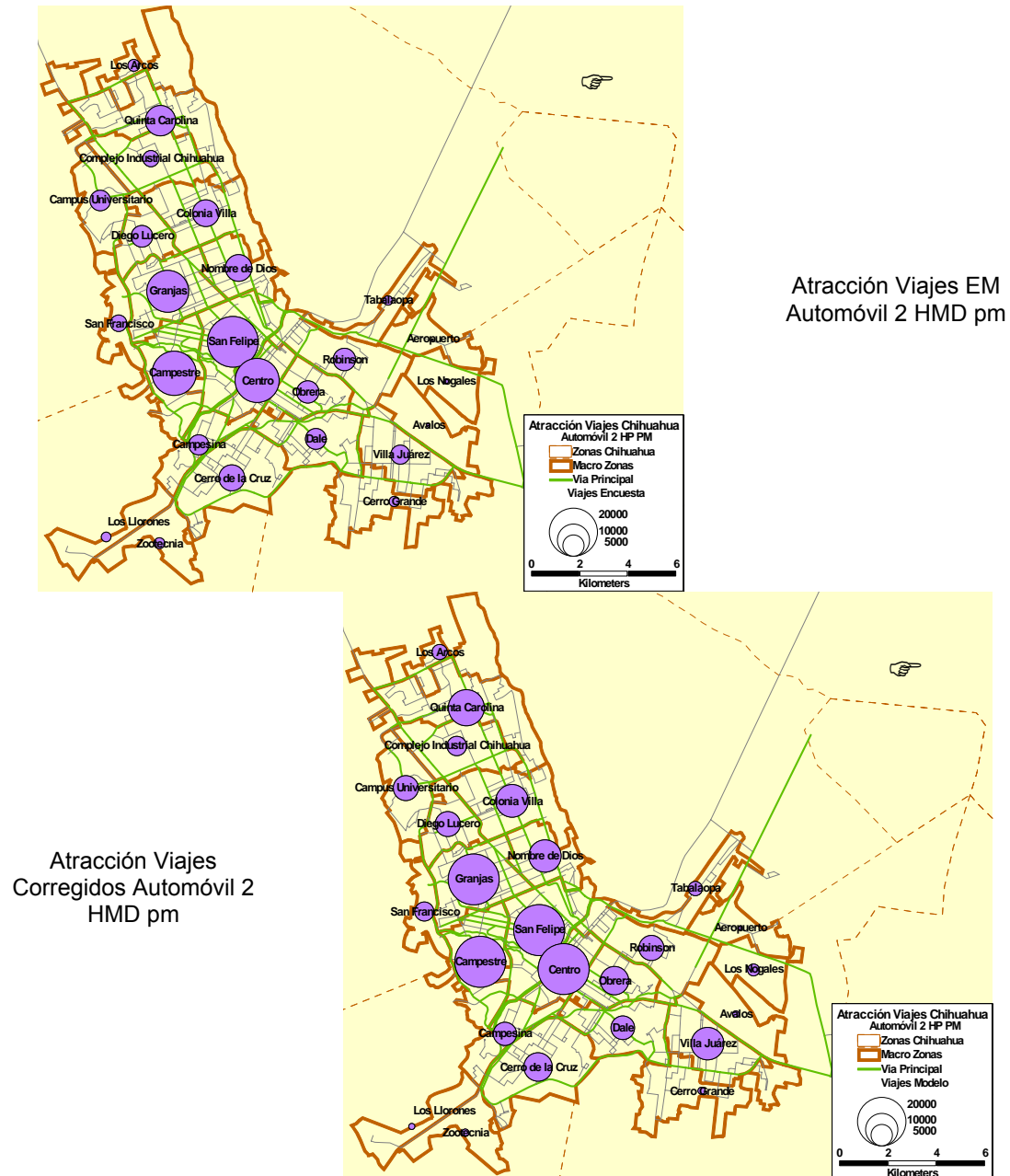
Fuente: Elaboración propia

Dentro de la jerarquía de atractores de la ciudad en el periodo de la mañana, se observa que las macrozonas de San Felipe, Centro, Campestre y Granjas obtienen los mayores arribos en automóvil, tanto en la matriz original como después del proceso de corrección.

Tabla 4.7 Comparación de viajes atraídos en automóvil. Periodo pico AM

Atracción		Viajes		% de participación respecto al total de viajes	
Id	Nombre	Encuesta	Modelo	Encuesta	Modelo
1	Los Arcos	3,792	4,724	1.3%	1.4%
2	Quinta Carolina	14,827	17,445	5.1%	5.3%
3	Complejo Industrial Chihuahua	7,030	12,587	2.4%	3.8%
4	Campus Universitario	7,529	9,701	2.6%	2.9%
5	Diego Lucero	7,415	5,738	2.5%	1.7%
6	Colonia Villa	13,605	12,847	4.7%	3.9%
7	San Francisco	4,836	6,365	1.7%	1.9%
8	Granjas	34,290	31,014	11.8%	9.4%
9	Nombre de Dios	9,458	7,242	3.2%	2.2%
10	Campestre	30,500	27,029	10.5%	8.2%
11	San Felipe	45,786	60,047	15.7%	18.2%
12	Los Llorones	454	160	0.2%	0.0%
13	Campesina	10,022	9,732	3.4%	3.0%
14	Centro	44,251	45,475	15.2%	13.8%
15	Robinson	6,855	10,452	2.4%	3.2%
16	Tabalaopa	3,471	4,202	1.2%	1.3%
17	Zootecnia	349	109	0.1%	0.0%
18	Cerro de la Cruz	7,178	6,731	2.5%	2.0%
19	Dale	7,209	10,801	2.5%	3.3%
20	Obrera	10,504	19,752	3.6%	6.0%
21	Aeropuerto	833	800	0.3%	0.2%
22	Los Nogales	189	201	0.1%	0.1%
23	Avalos	1,975	3,778	0.7%	1.1%
24	Villa Juárez	11,295	13,745	3.9%	4.2%
25	Cerro Grande	1,161	1,301	0.4%	0.4%
301	Salida a Cd. Juárez	636	956	0.2%	0.3%
302	Salida a Cuauhtemoc	1,964	1,755	0.7%	0.5%
303	Salida a Delicias	258	827	0.1%	0.3%
304	Salida a Aldama	1,806	936	0.6%	0.3%
305	Externa Municipal	190	118	0.1%	0.0%
307	Externa Municipal	10	6	0.0%	0.0%
308	Externa Municipal	75	15	0.0%	0.0%
309	Externa Municipal	8	5	0.0%	0.0%
310	Externa Municipal	126	16	0.0%	0.0%
313	Externa Municipal	104	865	0.0%	0.3%
314	Externa Municipal	499	239	0.2%	0.1%
315	Aeropuerto	868	1,623	0.3%	0.5%
316	Aquiles Serdán	96	148	0.0%	0.0%
Total general		291,455	329,491		

Figura 4.26 Comparación de la distribución por macrozona del total de viajes atraídos en automóvil en el periodo de máxima demanda de la tarde. Matriz original de la encuesta de movilidad Vs Matriz corregida con datos de tránsito



Fuente: Elaboración propia

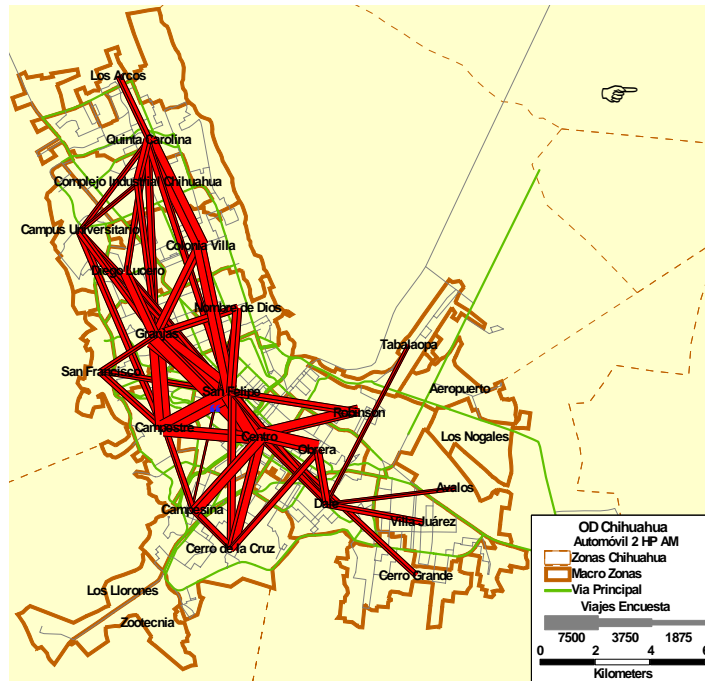
En este caso de la atracción de los viajes en auto en el periodo vespertino, además de los centros tradicionales del Centro, Granjas, Campestre y San Felipe, se observa que el proceso de corrección asignó un aumento moderado de los destinos en la macrozona de Villa Juárez.

Tabla 4.8 Comparación de viajes atraídos en automóvil. Periodo pico PM

Atracción		Viajes		% de participación respecto al total de viajes	
Id	Nombre	Encuesta	Modelo	Encuesta	Modelo
1	Los Arcos	1,872	2,856	1.2%	1.2%
2	Quinta Carolina	9,029	12,423	5.9%	5.0%
3	Complejo Industrial Chihuahua	3,174	3,875	2.1%	1.6%
4	Campus Universitario	4,682	7,768	3.1%	3.1%
5	Diego Lucero	5,123	7,795	3.3%	3.1%
6	Colonia Villa	7,258	11,354	4.7%	4.6%
7	San Francisco	3,263	3,943	2.1%	1.6%
8	Granjas	15,743	23,304	10.3%	9.4%
9	Nombre de Dios	7,248	9,274	4.7%	3.7%
10	Campestre	17,294	22,216	11.3%	9.0%
11	San Felipe	21,834	51,504	14.3%	20.8%
12	Los Llorones	1,343	580	0.9%	0.2%
13	Campesina	4,546	5,260	3.0%	2.1%
14	Centro	17,277	32,855	11.3%	13.2%
15	Robinson	5,414	6,427	3.5%	2.6%
16	Tabalaopa	1,315	2,669	0.9%	1.1%
17	Zootecnia	1,673	693	1.1%	0.3%
18	Cerro de la Cruz	6,921	8,657	4.5%	3.5%
19	Dale	4,770	6,549	3.1%	2.6%
20	Obrera	5,395	9,629	3.5%	3.9%
21	Aeropuerto	126	218	0.1%	0.1%
22	Los Nogales	455	2,592	0.3%	1.0%
23	Avalos	325	528	0.2%	0.2%
24	Villa Juárez	4,112	11,103	2.7%	4.5%
25	Cerro Grande	1,493	1,132	1.0%	0.5%
301	Salida a Cd. Juarez	242	196	0.2%	0.1%
302	Salida a Cuauhtemoc	389	167	0.3%	0.1%
303	Salida a Delicias	35	939	0.0%	0.4%
304	Salida a Aldama	117	455	0.1%	0.2%
305	Externa Municipal	190	233	0.1%	0.1%
309	Externa Municipal	1	0	0.0%	0.0%
313	Externa Municipal	193	13	0.1%	0.0%
314	Externa Municipal	227	750	0.1%	0.3%
315	Aeropuerto	50	19	0.0%	0.0%
Total general		153,128	247,977		

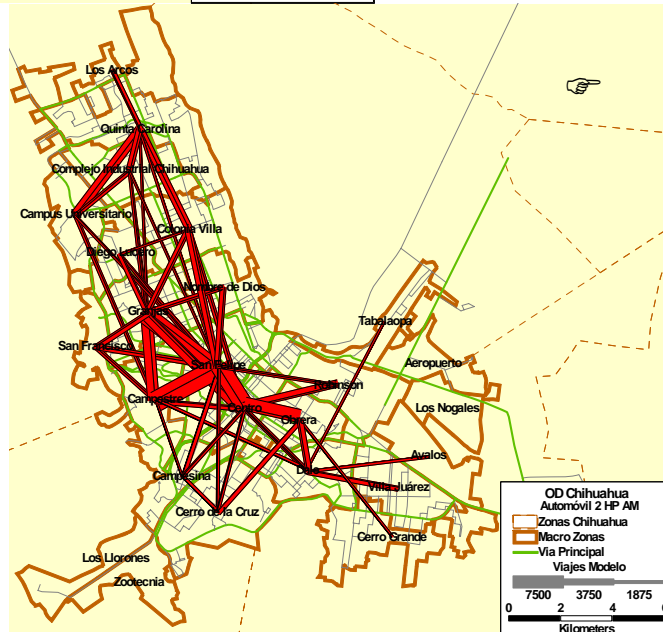
Finalmente en la Figura 4.27 y la Figura 4.28, mediante las líneas de deseo de las matrices antes y después de la aplicación del proceso, se exhibe la interacción desde el plano geográfico de los orígenes y destinos mostrados anteriormente.

Figura 4.27 Principales líneas de deseo de automóviles en el periodo de máxima demanda de la mañana. Comparación matriz total original EM Vs. matriz corregida



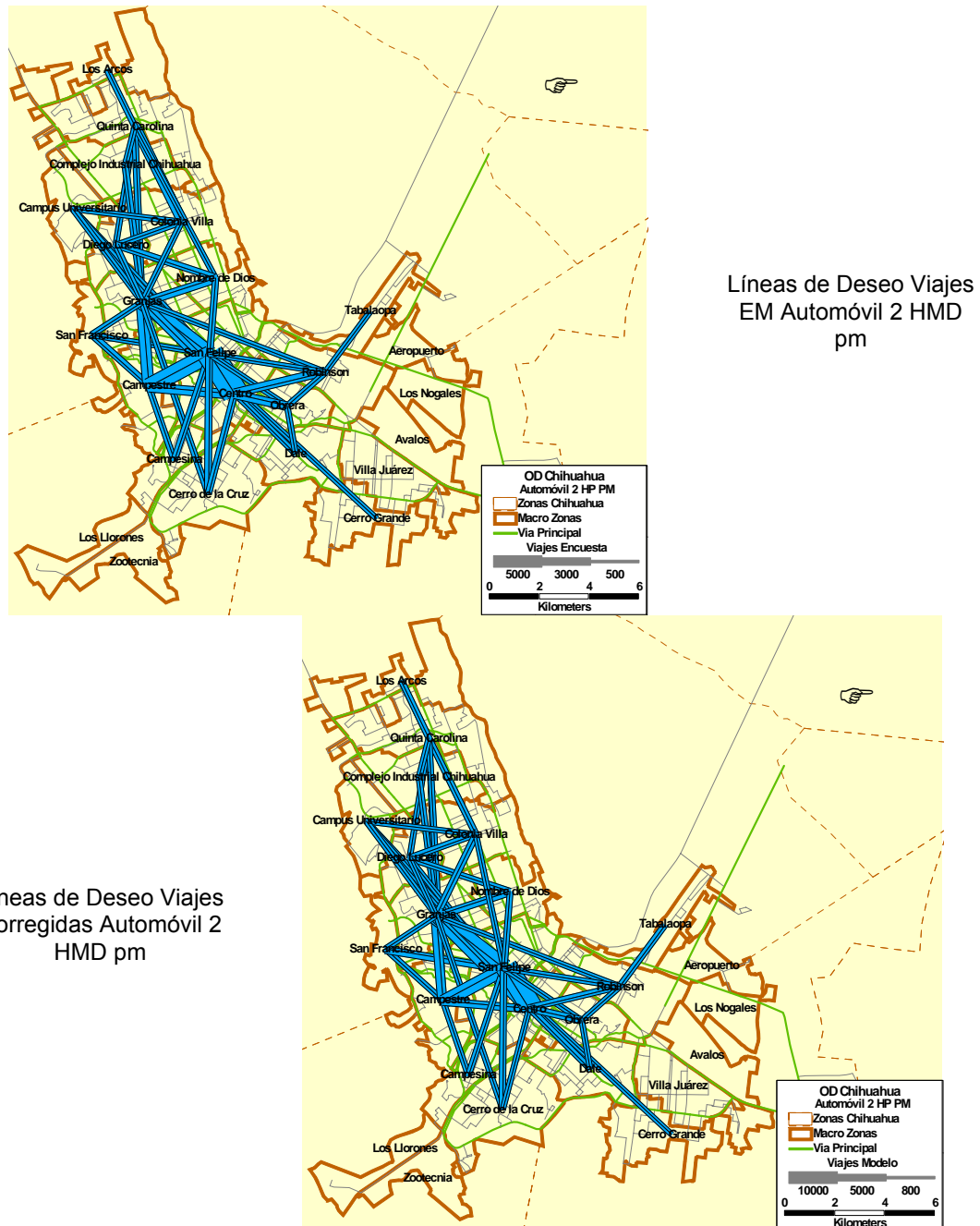
Líneas de Deseo Viajes
EM Automóvil 2 HMD am

Líneas de Deseo Viajes
Corregidas Automóvil 2
HMD am



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28 Principales líneas de deseo de automóviles en el periodo de máxima demanda de la tarde. Comparación matriz total original EM Vs. matriz corregida



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en los gráficos anteriores, el proceso conserva de manera general el patrón de movilización original. Se nota una mayor intensificación en los flujos céntricos predominantemente de intercambio con respecto a las zonas Centro y San Felipe.

4.4.2.2 Matrices del transporte público

La demanda que utiliza el transporte público, se definió como la que actualmente se moviliza en autobús, es decir, los viajes en taxi no son considerados en las matrices de este tipo de transporte.

En la Tabla 4.9, se muestran para cada periodo de simulación las dimensiones de las matrices de transporte público que se obtuvieron originalmente de la encuesta de movilidad y posteriormente con la aplicación del proceso de corrección a través de conteos de pasajeros.

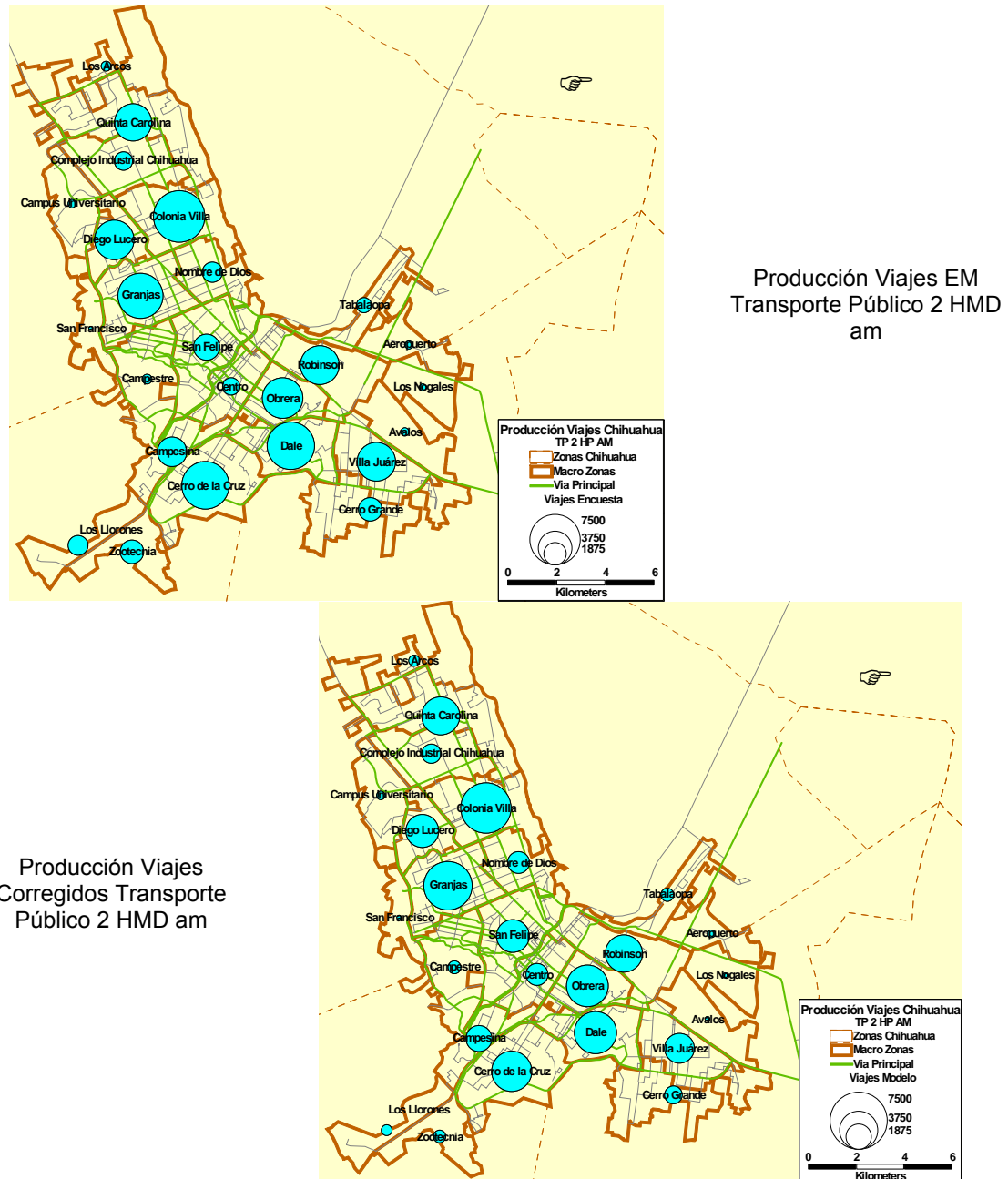
Tabla 4.9 Viajes totales en transporte público antes y después de los procesos de corrección por conteos

Periodo	Viajes Encuesta Movilidad	Viajes Corregidos
2 HMD de la Mañana	69,847	45,103
2 HMD de la Tarde	34,005	37,448

Fuente: Elaboración propia

De manera similar como se mostró para las matrices del transporte privado, de la Figura 4.29 a la Figura 4.32 se exponen para los periodos de la mañana y de la tarde, las distribuciones espaciales de los orígenes y destinos de los viajes en transporte público, de manera comparativa para la matriz original de la encuesta de movilidad respecto a la corregida por el proceso numérico.

Figura 4.29 Comparación de la distribución por macrozona del total de viajes producidos en transporte público en el periodo de máxima demanda de la mañana. Matriz original de la encuesta de movilidad Vs Matriz corregida con datos de tránsito



Fuente: Elaboración propia

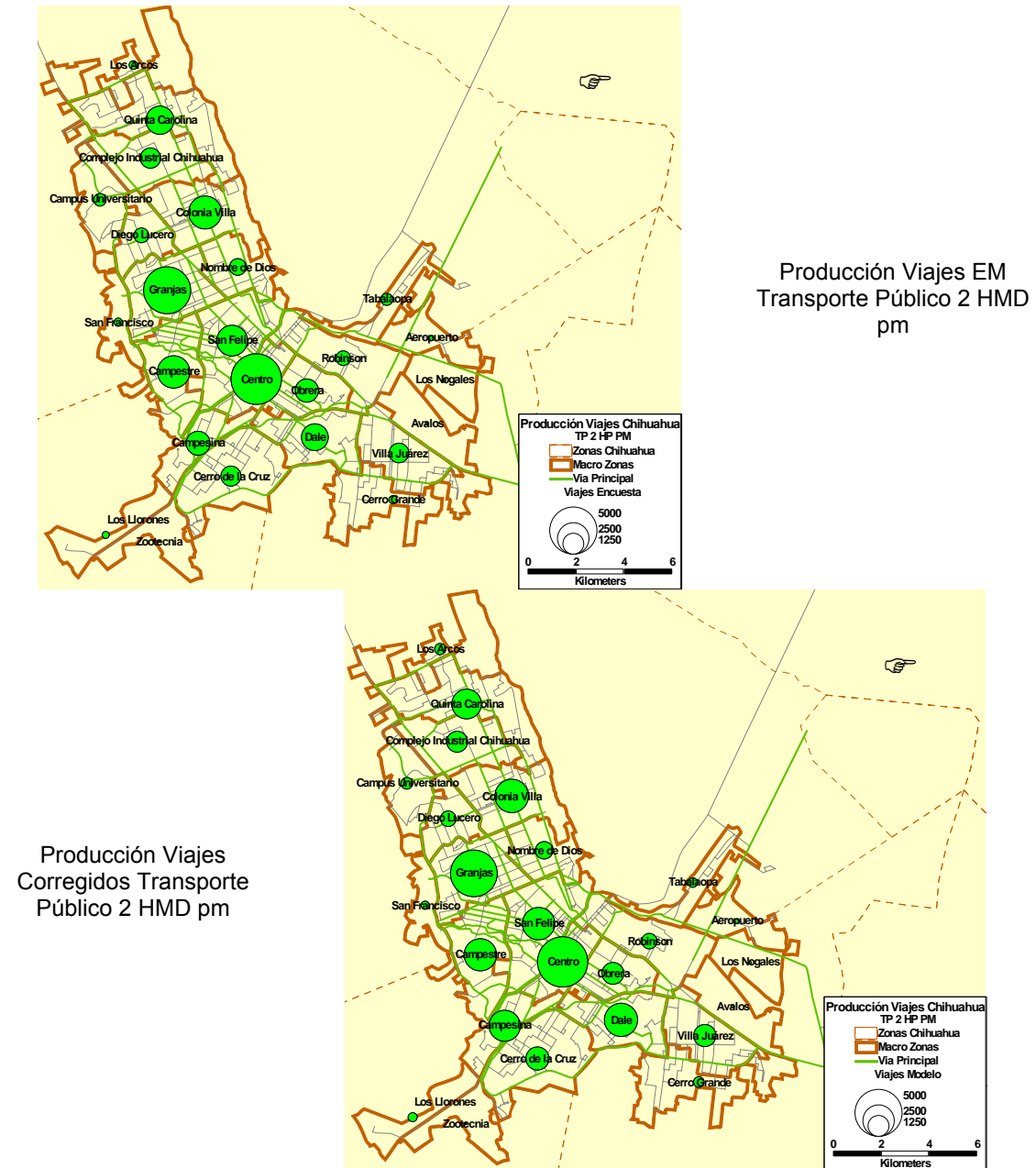
Los principales sectores con producción de viajes durante la mañana en el norte de la ciudad son Colonia Villa, Diego Lucero y Granjas, mientras que en la parte sur se destacan Cerro de la Cruz, Dale, Obrera y en menor proporción Robinsón.

Al igual que en el modelo de automóviles, es importar resaltar que el patrón de comportamiento se mantiene, es decir el porcentaje de participación de cada zona respecto del total de viajes antes y después del ajuste es similar. Esto a pesar de que el ajuste genera algunas diferencias en cuanto a la cantidad de viajes en cada zona. En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos de la encuesta y los obtenidos del ajuste.

Tabla 4.10 Comparación de viajes producidos en transporte público. Periodo pico AM

Producción		Viajes		% de participación respecto al total de viajes	
Id	Nombre	Encuesta	Modelo	Encuesta	Modelo
1	Los Arcos	477	390	0.7%	0.9%
2	Quinta Carolina	4,407	3,970	6.3%	8.8%
3	Complejo Industrial Chihuahua	1,340	1,213	1.9%	2.7%
4	Campus Universitario	367	300	0.5%	0.7%
5	Diego Lucero	4,907	2,471	7.0%	5.5%
6	Colonia Villa	7,715	5,190	11.0%	11.5%
7	San Francisco	126	177	0.2%	0.4%
8	Granjas	6,164	4,589	8.8%	10.2%
9	Nombre de Dios	1,576	599	2.3%	1.3%
10	Campestre	483	463	0.7%	1.0%
11	San Felipe	2,406	3,272	3.4%	7.3%
12	Los Llorones	1,516	160	2.2%	0.4%
13	Campesina	2,963	1,511	4.2%	3.4%
14	Centro	1,216	1,035	1.7%	2.3%
15	Robinson	4,748	2,991	6.8%	6.6%
16	Tabalaopa	962	663	1.4%	1.5%
17	Zootecnia	2,020	193	2.9%	0.4%
18	Cerro de la Cruz	6,747	3,517	9.7%	7.8%
19	Dale	6,716	4,031	9.6%	8.9%
20	Obrera	5,137	4,106	7.4%	9.1%
21	Aeropuerto	345	317	0.5%	0.7%
22	Los Nogales	277	288	0.4%	0.6%
23	Avalos	362	127	0.5%	0.3%
24	Villa Juárez	4,687	2,192	6.7%	4.9%
25	Cerro Grande	2,030	1,209	2.9%	2.7%
304	Salida a Aldama	153	129	0.2%	0.3%
Total general		69,847	45,103		

Figura 4.30 Comparación de la distribución por macrozona del total de viajes producidos en transporte público en el periodo de máxima demanda de la tarde. Matriz original de la encuesta de movilidad Vs Matriz corregida con datos de tránsito



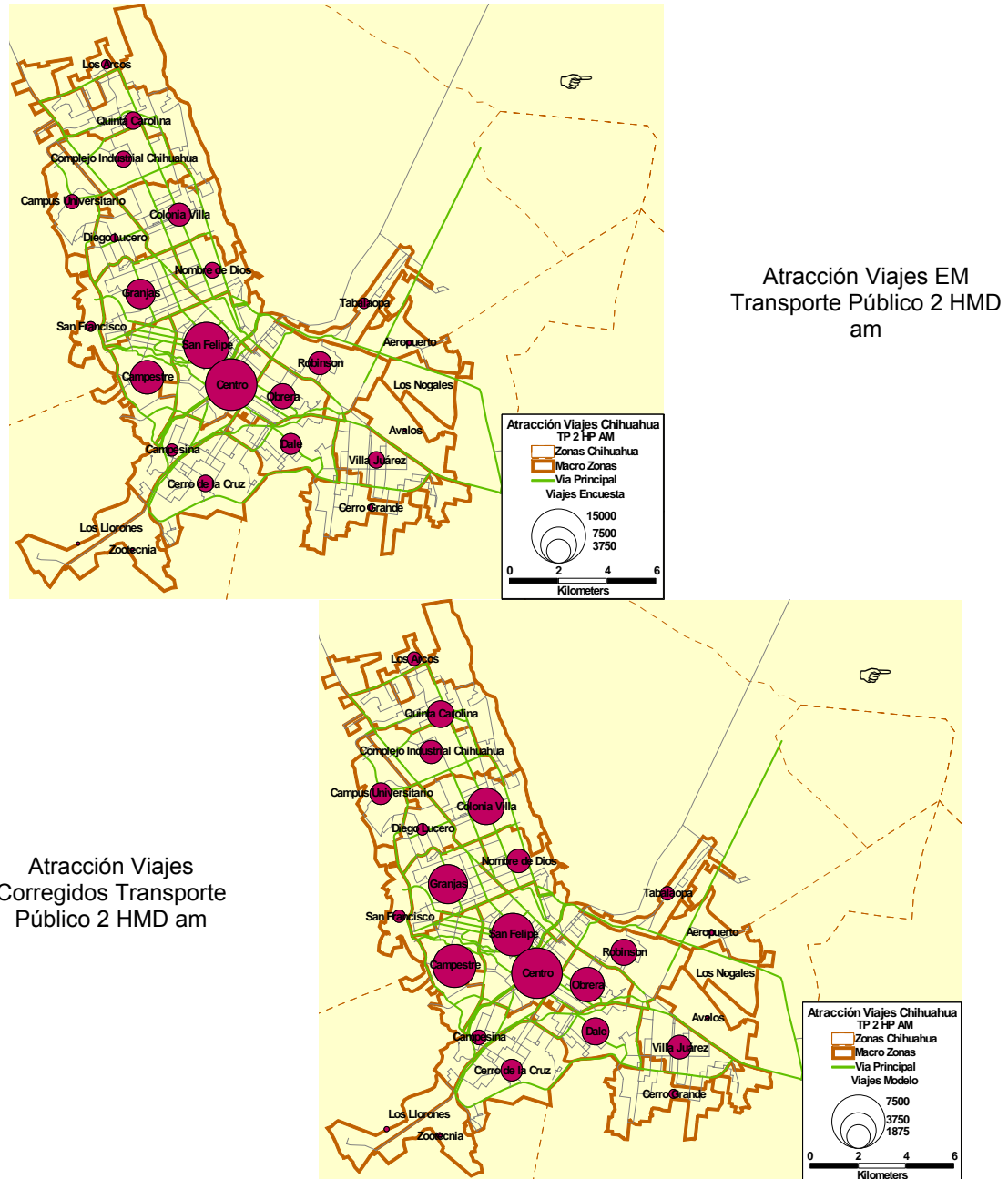
Fuente: Elaboración propia

Respecto a las macrozonas que producen la mayor cantidad de viajes en transporte público durante la tarde, se destacan en la matriz original y en la corregida las de Centro y Granjas. Se percibe que el proceso de corrección le dio un mayor grado de producción de viajes en este modo de transporte a la macrozona Campesina.

Tabla 4.11 Comparación de viajes producidos en transporte público. Periodo pico PM

Producción		Viajes		% de participación respecto al total de viajes	
Id	Nombre	Encuesta	Modelo	Encuesta	Modelo
1	Los Arcos	287	497	0.8%	1.3%
2	Quinta Carolina	2,065	2,093	6.1%	5.6%
3	Complejo Industrial Chihuahua	1,183	1,228	3.5%	3.3%
4	Campus Universitario	526	287	1.5%	0.8%
5	Diego Lucero	705	829	2.1%	2.2%
6	Colonia Villa	2,690	2,803	7.9%	7.5%
7	San Francisco	270	280	0.8%	0.7%
8	Granjas	4,959	5,106	14.6%	13.6%
9	Nombre de Dios	855	695	2.5%	1.9%
10	Campestre	2,625	2,144	7.7%	5.7%
11	San Felipe	2,383	3,217	7.0%	8.6%
12	Los Llorones	212	110	0.6%	0.3%
13	Campesina	1,560	2,160	4.6%	5.8%
14	Centro	5,610	6,304	16.5%	16.8%
15	Robinson	688	741	2.0%	2.0%
16	Tabalaopa	497	512	1.5%	1.4%
17	Zootecnia	30	12	0.1%	0.0%
18	Cerro de la Cruz	1,154	1,503	3.4%	4.0%
19	Dale	1,894	2,361	5.6%	6.3%
20	Obrera	1,498	1,404	4.4%	3.7%
21	Aeropuerto	128	232	0.4%	0.6%
22	Los Nogales	56	91	0.2%	0.2%
23	Avalos	51	61	0.1%	0.2%
24	Villa Juárez	1,118	1,730	3.3%	4.6%
25	Cerro Grande	258	604	0.8%	1.6%
301	Salida a Cd. Juárez	84	61	0.2%	0.2%
302	Salida a Cuauhtemoc	9	6	0.0%	0.0%
303	Salida a Delicias	234	174	0.7%	0.5%
304	Salida a Aldama	88	58	0.3%	0.2%
313	Externa Municipal	49	41	0.1%	0.1%
314	Externa Municipal	217	90	0.6%	0.2%
316	Aquiles Serdán	21	16	0.1%	0.0%
Total general		34,005	37,449		

Figura 4.31 Comparación de la distribución por macrozona del total de viajes atraídos en transporte público en el periodo de máxima demanda de la mañana. Matriz original de la encuesta de movilidad Vs Matriz corregida con datos de tránsito



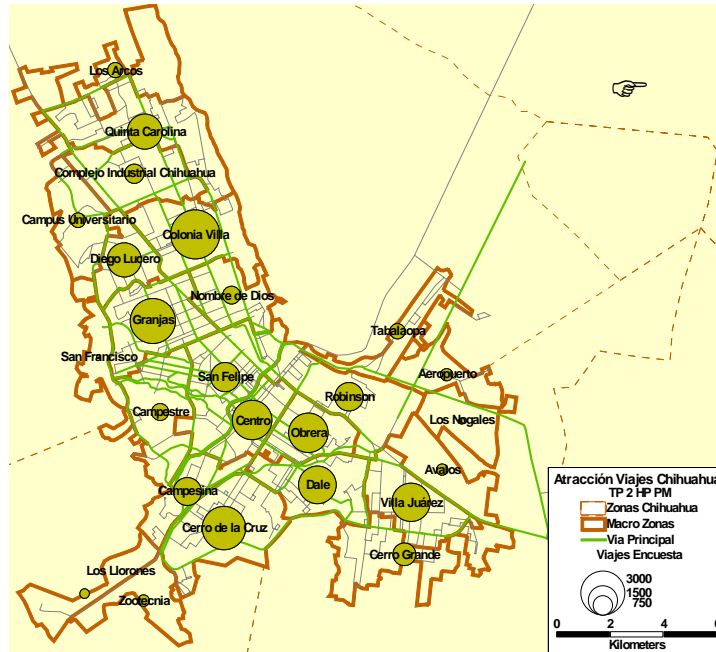
Fuente: Elaboración propia

Durante las primeras horas del día, los viajes en transporte público tiene como destinos prevalecientes a las macrozonas de el Centro, San Felipe y Campestre. La corrección por datos de tránsito, proporciona mayor participación generalizada a los sectores de nivel intermedio, destacándose entre ellos las macrozonas de Colonia Villa, Granja y Obrera.

Tabla 4.12 Comparación de viajes atraídos en transporte público. Periodo pico AM

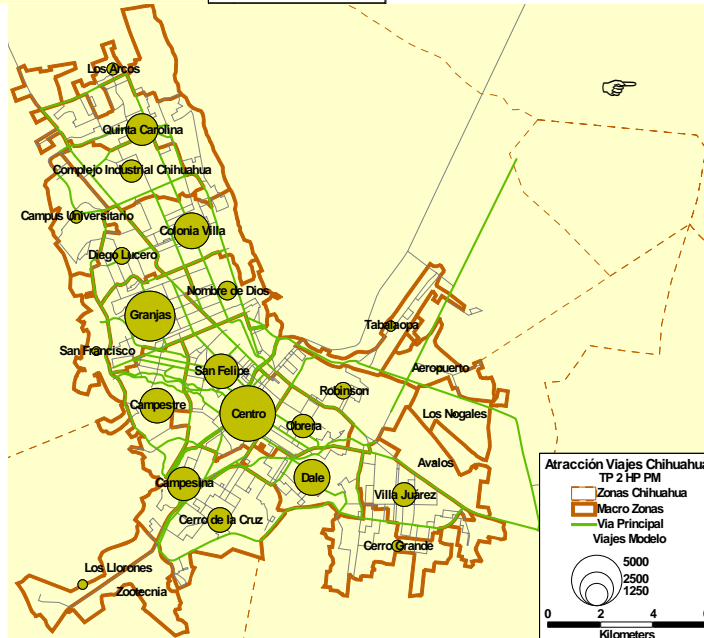
Atracción		Viajes		% de participación respecto al total de viajes	
Id	Nombre	Encuesta	Modelo	Encuesta	Modelo
1	Los Arcos	778	694	1.1%	1.5%
2	Quinta Carolina	2,162	1,934	3.1%	4.3%
3	Complejo Industrial Chihuahua	1,921	1,363	2.8%	3.0%
4	Campus Universitario	1,584	1,422	2.3%	3.2%
5	Diego Lucero	610	653	0.9%	1.4%
6	Colonia Villa	3,470	3,614	5.0%	8.0%
7	San Francisco	859	455	1.2%	1.0%
8	Granjas	5,280	4,353	7.6%	9.7%
9	Nombre de Dios	1,845	1,204	2.6%	2.7%
10	Campestre	6,610	3,041	9.5%	6.7%
11	San Felipe	11,261	5,444	16.1%	12.1%
12	Los Llorones	175	3	0.2%	0.0%
13	Campesina	1,222	1,097	1.7%	2.4%
14	Centro	13,736	6,667	19.7%	14.8%
15	Robinson	3,480	2,097	5.0%	4.6%
16	Tabalaopa	958	697	1.4%	1.5%
17	Zootecnia	196	3	0.3%	0.0%
18	Cerro de la Cruz	1,989	1,628	2.8%	3.6%
19	Dale	2,982	1,973	4.3%	4.4%
20	Obrera	4,010	3,087	5.7%	6.8%
21	Aeropuerto	327	169	0.5%	0.4%
22	Los Nogales	43	25	0.1%	0.1%
23	Avalos	137	155	0.2%	0.3%
24	Villa Juárez	1,977	1,653	2.8%	3.7%
25	Cerro Grande	375	573	0.5%	1.3%
301	Salida a Cd. Juarez	103	106	0.1%	0.2%
302	Salida a Cuauhtemoc	265	6	0.4%	0.0%
303	Salida a Delicias	270	288	0.4%	0.6%
304	Salida a Aldama	677	389	1.0%	0.9%
308	Externa Municipal	524	269	0.8%	0.6%
316	Aquiles Serdán	21	37	0.0%	0.1%
Total general		69,847	45,103		

Figura 4.32 Comparación de la distribución por macrozona del total de viajes atraídos en transporte público en el periodo de máxima demanda de la tarde. Matriz original de la encuesta de movilidad Vs Matriz corregida con datos de tránsito



Atracción Viajes EM
Transporte Público 2 HMD
pm

Atracción Viajes EM
Transporte Público 2 HMD
pm



Fuente: Elaboración propia

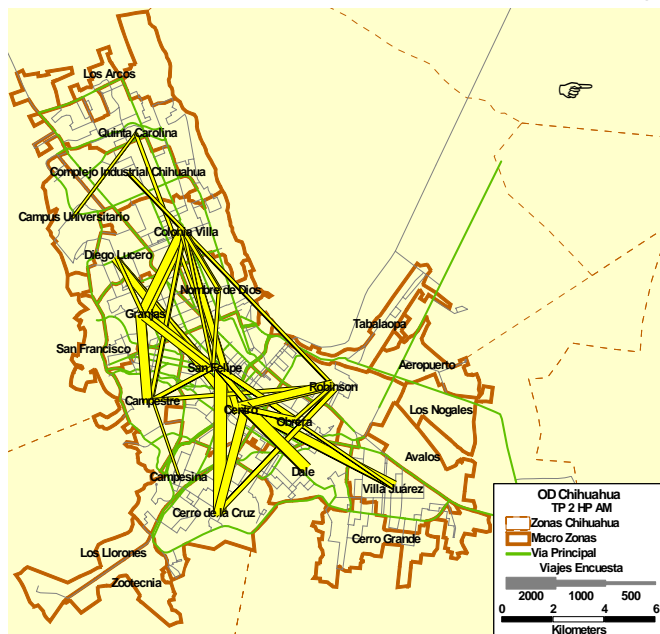
Los viajes en transporte público llegan en mayor proporción durante la tarde a las macrozonas de Granjas, Centro y Dale. El proceso de corrección otorgó mayor importancia en los destinos a la zona centro entre las 16:00 y las 18:00 horas y de manera contraria disminuyó la participación de las macrozonas de Colonia Villa, Diego Lucero, Obrera y Cerro de la Cruz.

Tabla 4.13 Comparación de viajes atraídos en transporte público. Periodo pico PM

Atracción		Viajes		% de participación respecto al total de viajes	
Id	Nombre	Encuesta	Modelo	Encuesta	Modelo
1	Los Arcos	494	655	1.5%	1.7%
2	Quinta Carolina	2,032	2,707	6.0%	7.2%
3	Complejo Industrial Chihuahua	736	961	2.2%	2.6%
4	Campus Universitario	472	333	1.4%	0.9%
5	Diego Lucero	1,948	2,056	5.7%	5.5%
6	Colonia Villa	3,611	3,745	10.6%	10.0%
7	San Francisco	55	195	0.2%	0.5%
8	Granjas	3,134	3,391	9.2%	9.1%
9	Nombre de Dios	653	559	1.9%	1.5%
10	Campestre	605	618	1.8%	1.7%
11	San Felipe	1,478	1,983	4.3%	5.3%
12	Los Llorones	238	11	0.7%	0.0%
13	Campesina	1,383	2,027	4.1%	5.4%
14	Centro	2,494	4,228	7.3%	11.3%
15	Robinson	1,418	1,377	4.2%	3.7%
16	Tabalaopa	508	288	1.5%	0.8%
17	Zootecnia	323	15	0.9%	0.0%
18	Cerro de la Cruz	2,922	3,141	8.6%	8.4%
19	Dale	2,295	2,696	6.7%	7.2%
20	Obrera	2,483	2,723	7.3%	7.3%
21	Aeropuerto	356	282	1.0%	0.8%
22	Los Nogales	116	132	0.3%	0.4%
23	Avalos	313	229	0.9%	0.6%
24	Villa Juárez	2,373	1,924	7.0%	5.1%
25	Cerro Grande	976	866	2.9%	2.3%
302	Salida a Cuauhtemoc	330	94	1.0%	0.3%
314	Externa Municipal	179	134	0.5%	0.4%
315	Aeropuerto	79	79	0.2%	0.2%
Total general		34,005	37,449		

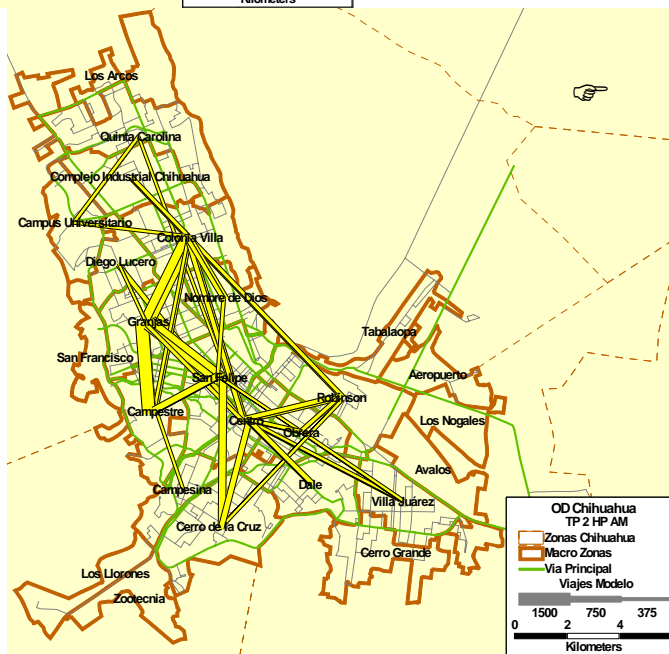
La distribución de los flujos de orígenes y destinos de los viajes en transporte público, se presenta espacialmente en la Figura 4.33 y la Figura 4.34, mediante las principales líneas de deseo de los viajes antes y después del proceso de corrección.

Figura 4.33 Principales líneas de deseo en transporte público en el periodo de máxima demanda de la mañana. Comparación matriz total original EM Vs. matriz corregida



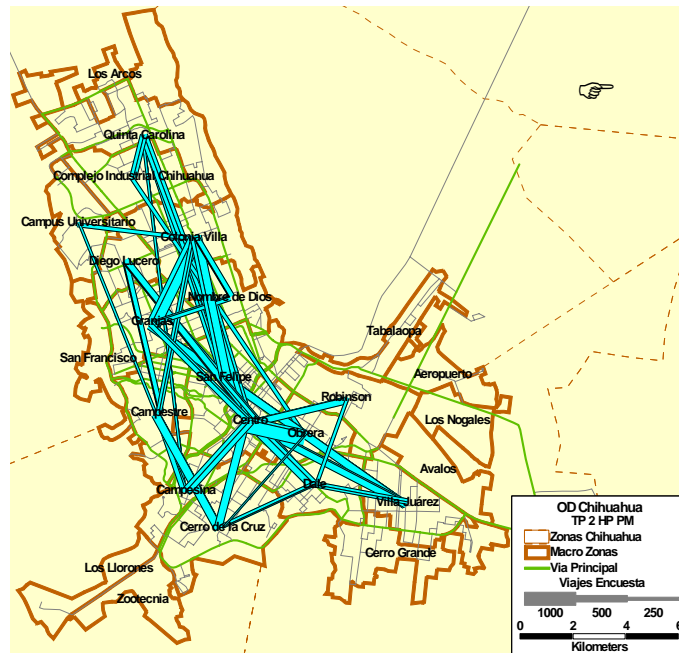
Líneas de Deseo Viajes
EM Transporte Público 2
HMD am

Líneas de Deseo Viajes
Corregidas Transporte
Público 2 HMD am



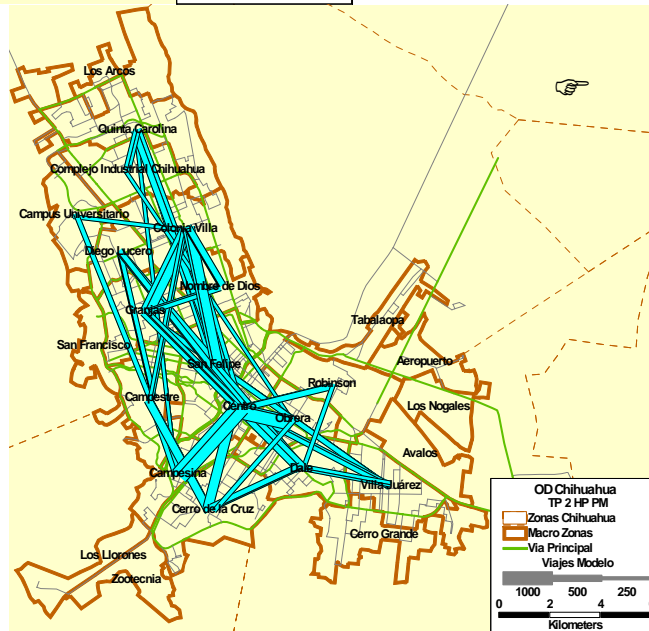
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.34 Principales líneas de deseo en transporte público en el periodo de máxima demanda de la tarde. Comparación matriz total original EM Vs. matriz corregida



Líneas de Deseo Viajes
EM Transporte público 2
HMD pm

Líneas de Deseo Viajes
Corregidas Transporte
Público 2 HMD pm



Fuente: Elaboración propia

Se observa que el patrón general de la matriz original, se conserva.

4.5 CALIBRACIÓN A LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS MODELOS DEL AÑO BASE

Esta sección, se refiere fundamentalmente a la calibración de la etapa de asignación de la demanda a la red vial y de transporte, de los modelos desarrollados en Emme/2.

La interacción entre actividades en el espacio da lugar a la demanda por transporte, el modelo de transporte, por su parte, representa el equilibrio de la demanda con la oferta. El resultado de este proceso produce indicadores de accesibilidad entre zonas, denominados desutilidades de transporte, los cuales a su vez afectan la interacción entre actividades. Claramente se trata de un proceso cíclico, que se resuelve de manera iterativa.

La metodología empleada por el modelo de simulación, inicia con la introducción de los datos indispensables al programa de modelación, tales como la red vial y sus atributos, red de transporte público con sus respectivas frecuencias y tarifas, entre otros. Posteriormente, se establecen valores iniciales para los diversos elementos que determinan el desempeño de los modelos, tales como los valores de las funciones volumen-demora y de tránsito. El ajuste de estos parámetros busca reproducir la situación actual observada sobre ciertos parámetros clave del sistema de transporte.

El transporte particular y el transporte público se calibran por separado, iniciando con el transporte particular en el cual se definen los niveles de congestión que condicionarán la operación del transporte público.

4.5.1 Modelo de transporte privado

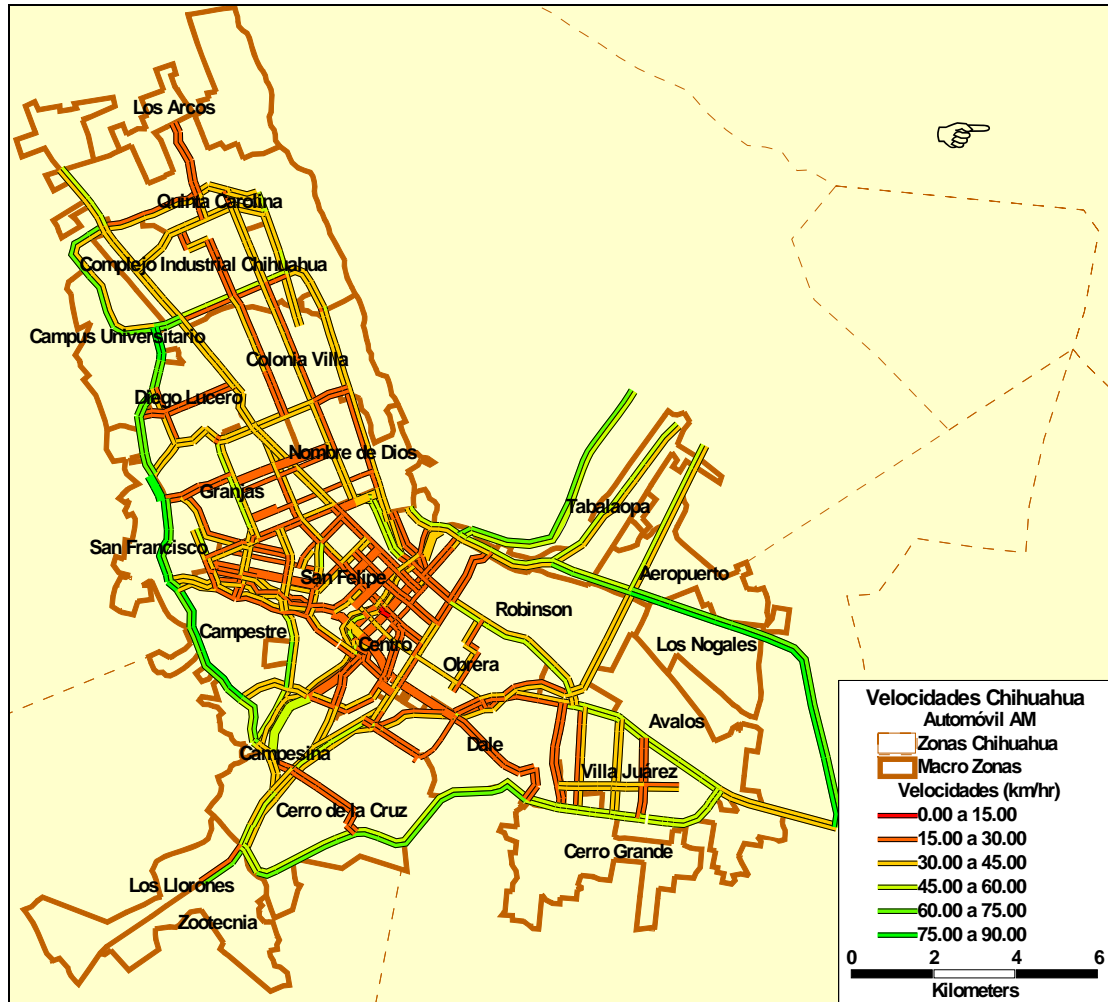
El proceso de calibración es un proceso iterativo sobre el principio de ensayo-error, comparando tanto las cifras de autos arrojadas por el modelo con las cifras obtenidas de aforos sobre la vía, así como los tiempos o velocidades de operación simuladas con respecto a las logradadas mediante recorridos sobre la red de transporte.

Sin embargo en el caso particular de este estudio, se realizó la corrección de la demanda que viaja en automóviles por medio de la técnica de conteos (ver capítulo 4.4). Como resultado preliminar de esta aplicación, se obtuvieron flujos de tránsito que reproducen adecuadamente los conteos observados en los puntos de control.

La calibración consistió entonces en cada periodo de simulación, en reproducir los tiempos de recorrido observados sobre los principales corredores de la red vial, manteniendo el nivel de representación obtenido para los volúmenes vehiculares al final del proceso de corrección de las matrices.

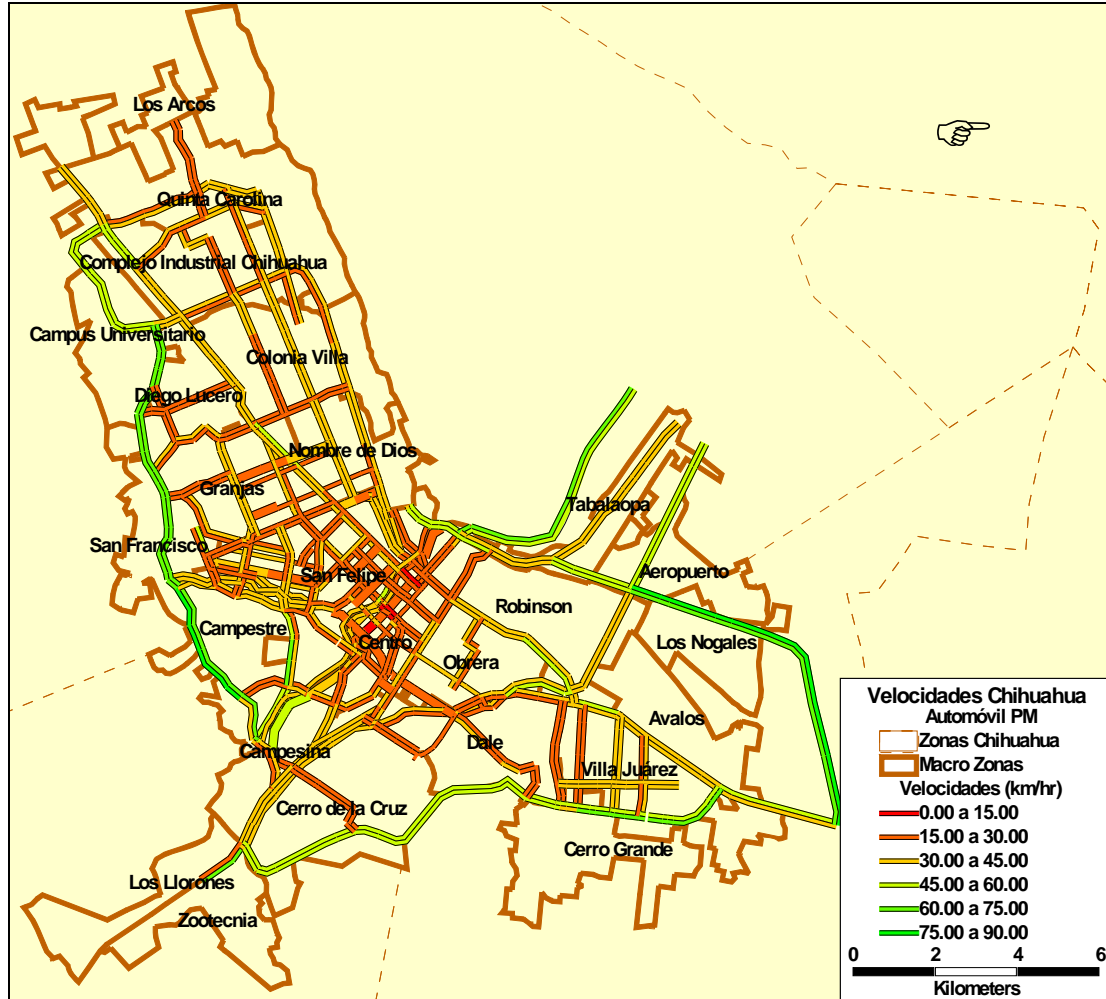
El proceso se realizó variando los parámetros de las funciones volumen-demora en los enlaces de la red vial, hasta lograr un nivel de calibración satisfactorio bajo las condiciones anteriormente mencionadas. En la Figura 4.35 y la Figura 4.36, se muestran las velocidades medias calibradas para el transporte privado en los periodos de dos horas de máxima demanda de la mañana y la tarde, respectivamente.

Figura 4.35 Velocidades medias calibradas del transporte privado. Modelo de la mañana



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.36 Velocidades medias calibradas del transporte privado. Modelo de la tarde



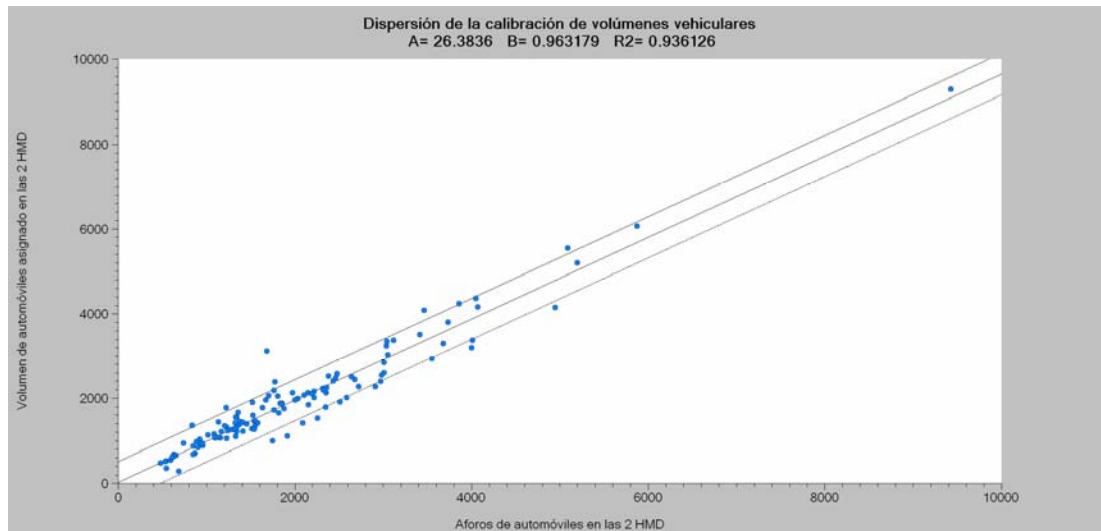
Fuente: Elaboración propia

Aunado a lo anterior, en el anexo 4.2 se presenta para cada uno de los tramos viales que conforman los corredores sobre los cuales se efectuaron levantamientos de tiempos de recorrido, la comparación de las velocidades medidas y las reproducidas por el modelo, en cada uno de los periodos de simulación.

Como se muestra en la Figura 4.37 y la Figura 4.38, para las rectas que representan la trayectoria de las dispersiones de puntos del volumen de vehículos privados asignados Vs. observados, se obtuvieron coeficientes de determinación de 0.93 y 0.94 el modelo calibrado de la mañana y de la tarde, respectivamente. En el eje vertical se localizaron

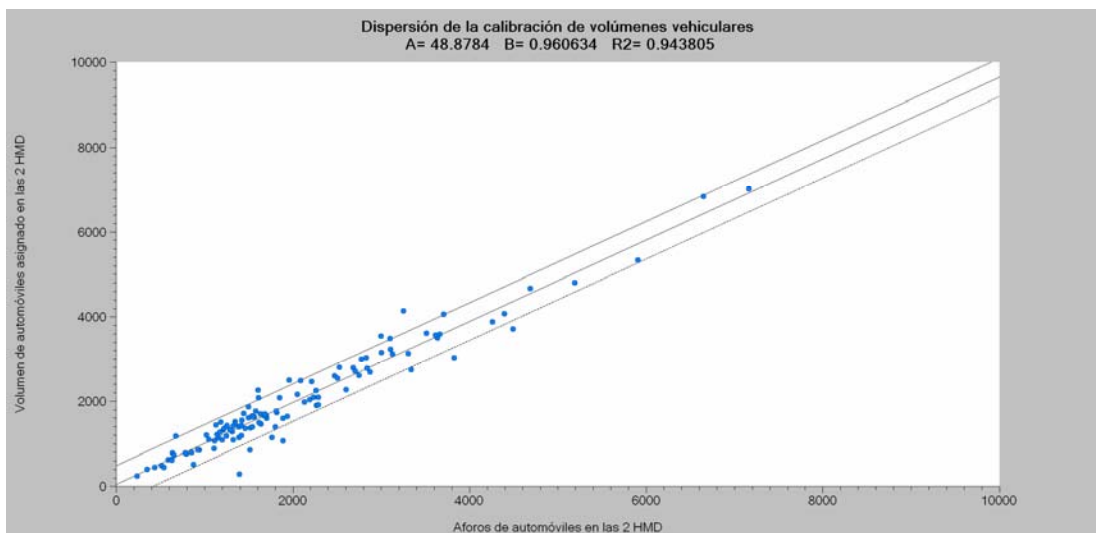
los volúmenes vehiculares asignados por el modelo y en el eje horizontal se encuentran los volúmenes vehiculares aforados en campo.

Figura 4.37 Dispersión del volumen de vehículos privados asignados Vs. observados en los puntos de control. Escenario año base calibrado en el periodo pico de la mañana.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.38 Dispersión del volumen de vehículos privados asignados Vs. observados en los puntos de control. Escenario año base calibrado en el periodo pico de la tarde.

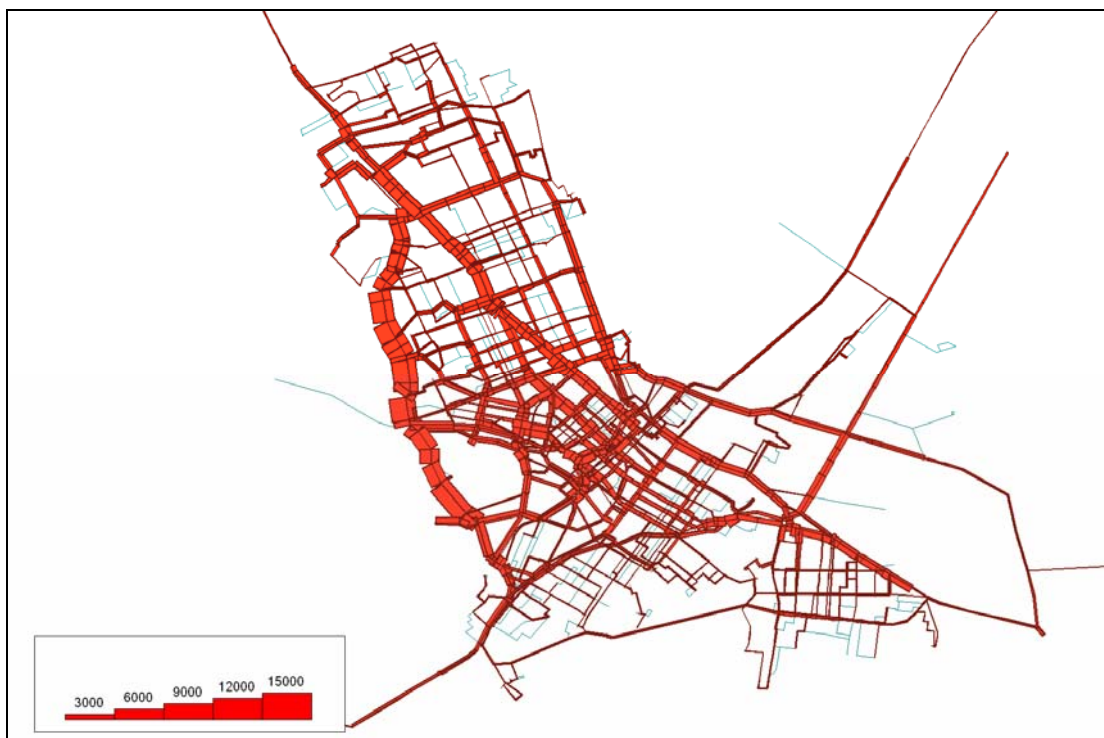


Fuente: Elaboración propia

Los valores numéricos que constituyen las dispersiones anteriores se presentan en el anexo 4.2 para el periodo de máxima demanda de las dos horas de la mañana y para el periodo de las dos horas de la tarde.

Finalmente en la Figura 4.39 y la Figura 4.40, se presentan las asignaciones obtenidas para los escenarios calibrados del sistema de transporte privado, en cada periodo de máxima demanda.

Figura 4.39 Asignación del transporte privado. Escenario calibrado del periodo pico de la mañana



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.40 Asignación del transporte privado. Escenario calibrado del periodo pico de la tarde



Fuente: Elaboración propia

4.5.2 Modelo de transporte público

De manera similar al transporte privado, al final de la aplicación del proceso de corrección por conteos sobre la demanda de viajes en transporte público, se obtuvieron volúmenes de pasajeros muy cercanos a los observados en las secciones de vía de los puntos en los que se ejecutaron los estudios de ocupación visual y frecuencias de paso.

En este caso, la calibración consistió en ajustar los coeficientes de peso relativo de los componentes de la función de costo generalizado y en reproducir las velocidades observadas en el transporte público. Esta calibración se realiza a través de ensayos a prueba y error, durante los cuales se cotejan diversos parámetros de verificación como lo son: la velocidad de recorrido, la tasa media de transbordos y naturalmente el conservar el nivel de representación de los volúmenes de pasajeros obtenido al final del proceso de corrección por conteos.

Los coeficientes del modelo representan el grado de importancia relativa entre las variables de decisión de los usuarios, por lo que son frecuentemente conocidos como los "pesos de la preferencia". La importancia relativa es cuantificada con respecto al tiempo de viaje dentro del vehículo, el cual toma por omisión el valor de 1.0.

Los resultados de la calibración de los coeficientes de la función de costo generalizado estimados para transporte público de pasajeros se presentan en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14 Resultado de la calibración de los coeficientes de la función de costo generalizado del transporte público

Coeficiente	Peso Relativo	
	2 HMD am	2 HMD pm
Espera	2.50	2.00
Caminata	2.50	2.00
Abordaje	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

La adecuada definición de los coeficientes de peso relativo, cobra mayor importancia en áreas de estudio como la de Chihuahua, debido a que por las altas temperaturas que se presentan a lo largo del día, algunas etapas del transporte como la caminata y la espera se convierten en variables determinantes para la elección de la estrategia de movilización por parte del usuario. Lo anterior, se evidencia en el resultado de la calibración del peso relativo calibrado para cada una de estas variables, los cuales fueron superiores al doble del tiempo de viaje a bordo de la unidad de transporte.

La tasa media de transbordo lograda en ambos periodos, se ajustó en ambos casos a la obtenida de la encuesta de movilidad. En la Tabla 4.15, se presentan las tasas de transbordo observadas y las simuladas.

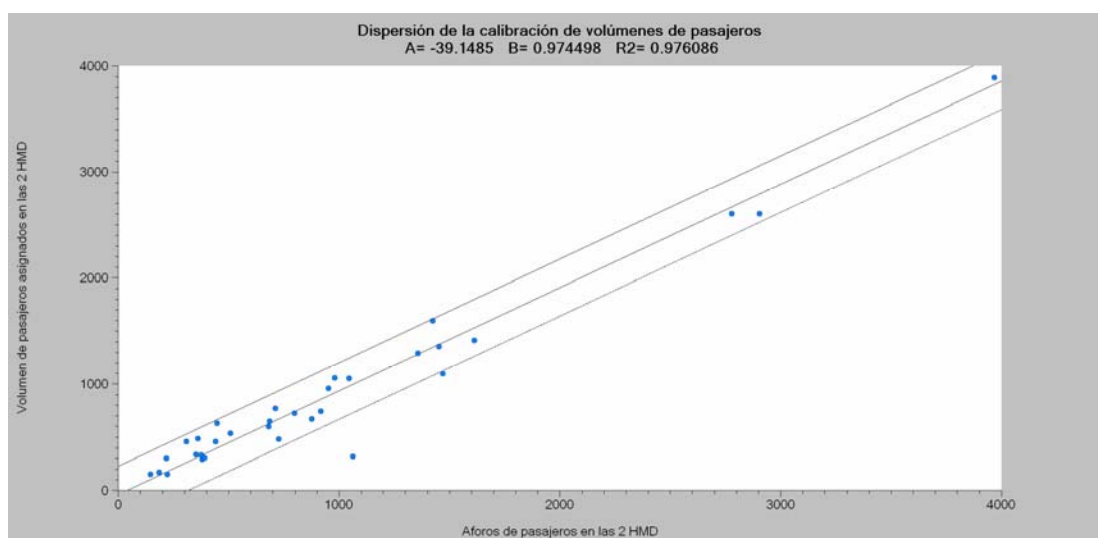
Tabla 4.15 Tasas medias de transbordo observadas y simuladas

Periodo	Tasa Media	
	Observada EM	Simulada
2 HMD de la Mañana	20.95%	18.09%
2 HMD de la Tarde	19.69%	19.33%

Fuente: Elaboración propia

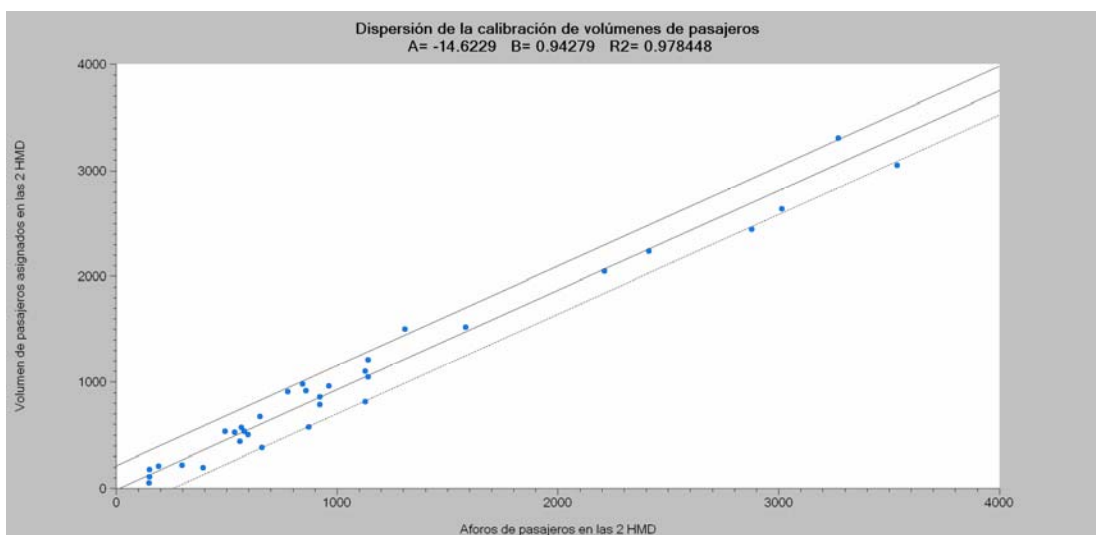
La ecuación del gráfico de la dispersión comparativa para los volúmenes de pasajeros de transporte público en la totalidad de puntos de control, contiene coeficientes de determinación altos para ambos periodos. Los gráficos de las dispersiones se presentan en la Figura 4.41 y la Figura 4.42.

Figura 4.41 Dispersión del volumen de pasajeros asignados vs. observados. Escenario calibrado de la mañana



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.42 Dispersión del volumen de pasajeros asignados vs. observados. Escenario calibrado de la tarde



Fuente: Elaboración propia

El anexo 4.3, contiene para el periodo de la mañana y de la tarde las cifras de los volúmenes de pasajeros observados en cada punto de los estudios de ocupación visual y su respectiva reproducción por parte del modelo calibrado.

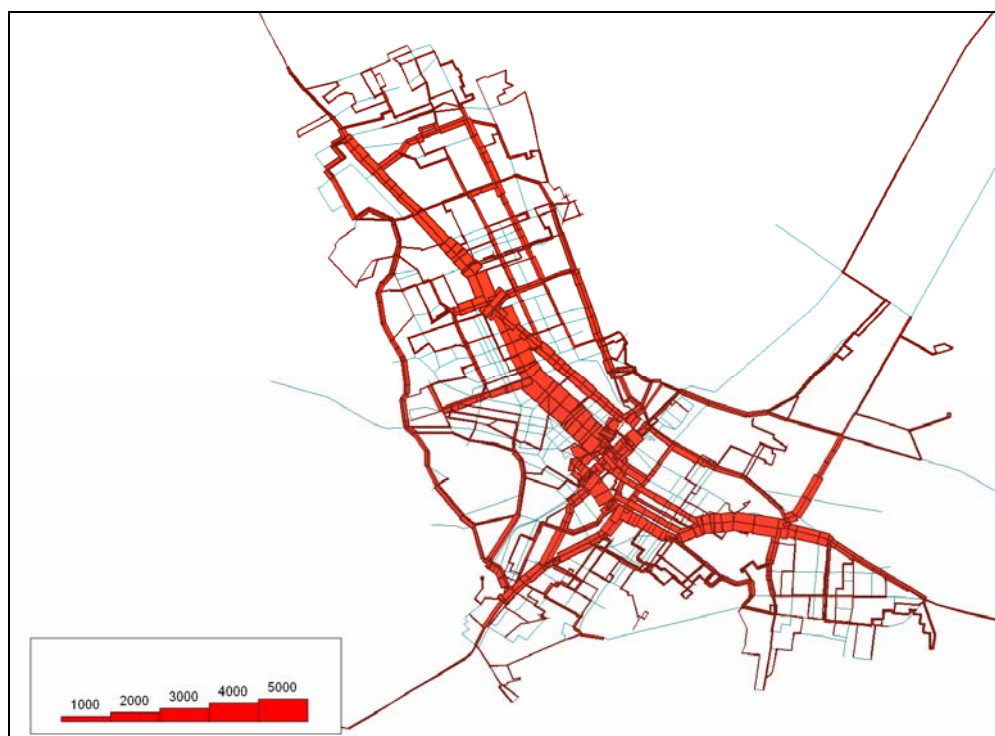
En la Figura 4.43 y la Figura 4.44, se muestran las asignaciones finales obtenidas para los escenarios pico calibrados del sistema de transporte público de Chihuahua.

Figura 4.43 Asignación del transporte público. Escenario calibrado del periodo de máxima demanda de la mañana



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.44 Asignación del transporte público. Escenario calibrado del periodo de máxima demanda de la tarde



Fuente: Elaboración propia

4.5.3 Análisis estadístico de la calibración de los modelos

Se ha analizado la información de los modelos para autos y pasajeros en periodos AM y PM respectivamente, con la finalidad de evaluar estadísticamente su calibración. El análisis estadístico ha sido el siguiente:

En primera instancia se procedió a comprar las distribuciones de cada modelo: Aforos Vs Asignados, pudiendo comparar sus estadísticos descriptivos, los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4.16 Principales estadísticos de las distribuciones comparadas de cada modelo

Resumen: Pasajeros AM

Grupos	Correlación	Promedio	Varianza	Desviación	Coeficiente de variación
Asignado Pasajeros AM	98.8%	1,089.13	1,294,393.77	1,137.71	104%
Aforo Pasajeros AM		1,157.35	1,332,333.39	1,154.27	100%

Resumen: Pasajeros PM

Grupos	Correlación	Promedio	Varianza	Desviación	Coeficiente de variación
Asignado Pasajeros PM	99.2%	1,137.48	1,118,085.03	1,057.40	93%
Aforo Pasajeros PM		1,209.74	1,132,463.23	1,064.17	88%

Resumen: Autos AM

Grupos	Correlación	Promedio	Varianza	Desviación	Coeficiente de variación
Asignado Autos AM	98.3%	1,975.00	1,676,237.48	1,294.70	66%
Aforo Autos AM		2,001.30	1,616,986.05	1,271.61	64%

Resumen: Autos PM

Grupos	Correlación	Promedio	Varianza	Desviación	Coeficiente de variación
Asignado Autos PM	98.4%	1,979.09	1,542,380.63	1,241.93	63%
Aforo Autos PM		2,017.15	1,576,215.10	1,255.47	62%

Fuente: Elaborado propia

Como se muestra en la tabla anterior, la correlación entre las observaciones de aforos y las cifras pronosticadas es alta en cada caso, así también, los promedios, desviaciones y coeficientes de variación son similares.

Con base en lo anterior, se han comparado los promedios de cada grupo de distribuciones mediante la prueba estadística t-student para probar la diferencia de medias, bajo la hipótesis nula de que los promedios de cada grupo de distribuciones son distintos, esto ya que se ha comprobado su alta correlación. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.17 Resultados obtenidos de las pruebas para diferencia de medias

Prueba para diferencia de promedios de muestras pareadas

Par	Diferencias pareadas				t	Grados de libertad	Sig. (2-colas)
	Promedio	Desviación	Error estándar promedio	Intervalo de confianza al 95%			
				Inf. Sup.			
Asignado Pasajeros AM Aforo Pasajeros AM	-68.225	178.429	30.6	-130.482 -5.968	-2.230	33	3.3%
Asignado Pasajeros PM Aforo Pasajeros PM	-72.254	133.259	22.854	-118.750 -25.758	-3.162	33	0.3%
Asignado Autos AM Aforo Autos AM	-26.299	236.567	21.331	-68.525 15.926	-1.233	122	22.0%
Asignado Autos PM Aforo Autos PM	-38.063	226.757	20.964	-79.584 3.458	-1.816	116	7.2%

Fuente: Elaborado propia

Es posible apreciar que para un nivel de confianza del 95% la prueba estadística es suficientemente significativa para rechazar la hipótesis nula planteada, y concluir que las medias de las distribuciones llegan a ser iguales, para el caso de Pasajeros AM y PM, mientras que para el caso de Autos PM, la prueba es significativa al 90%, y es aceptable a un 78% de confianza para el caso de Autos AM, siendo este el caso más bajo, sin que esto signifique que la calibración obtenida no esté dentro de los rangos permitidos para este tipo de proyectos.

Por otro lado también se han comparado las variaciones de cada grupo de distribuciones mediante un análisis de varianza ANOVA, bajo la hipótesis nula de que las variaciones de cada grupo de distribuciones son distintas. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

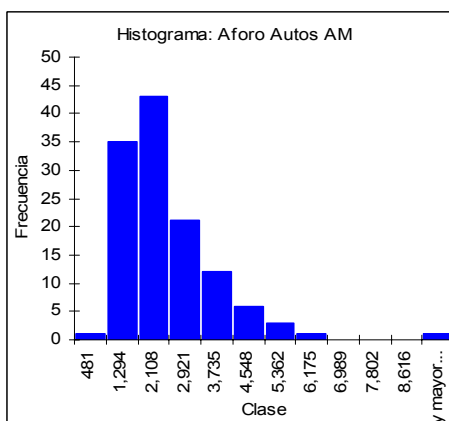
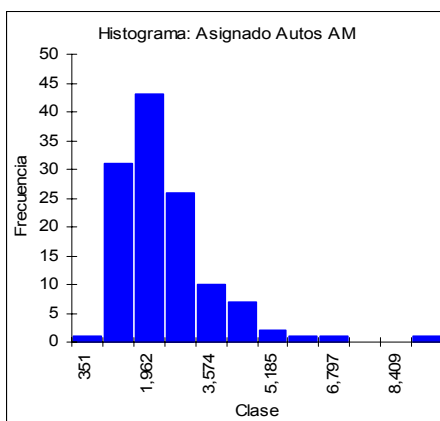
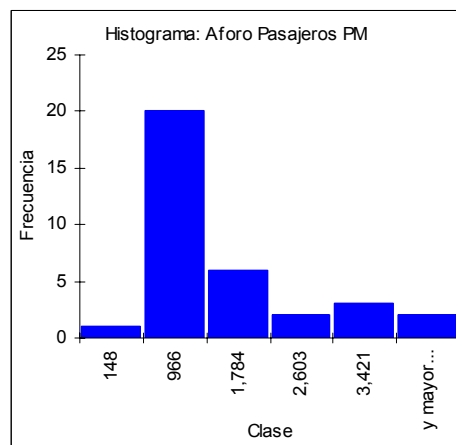
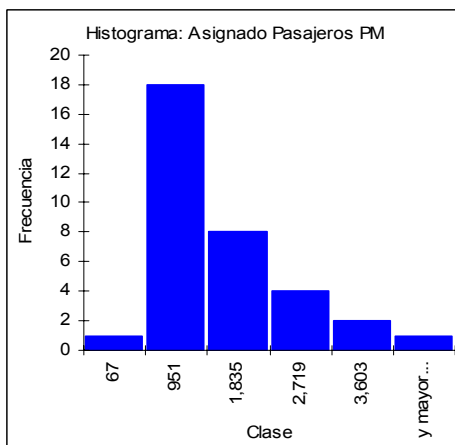
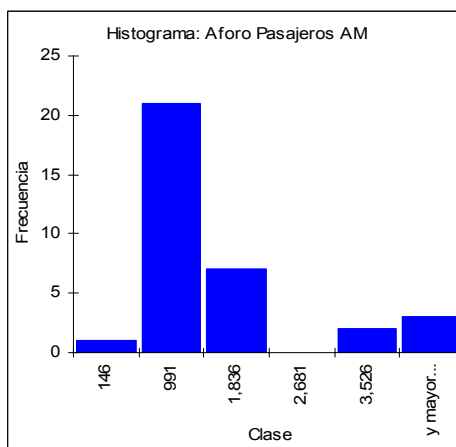
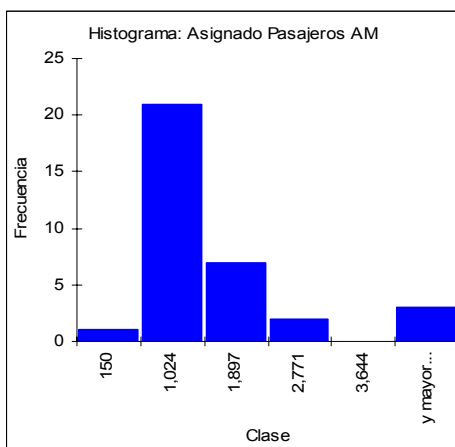
Tabla 4.18 Resultados obtenidos de las pruebas de análisis de varianza

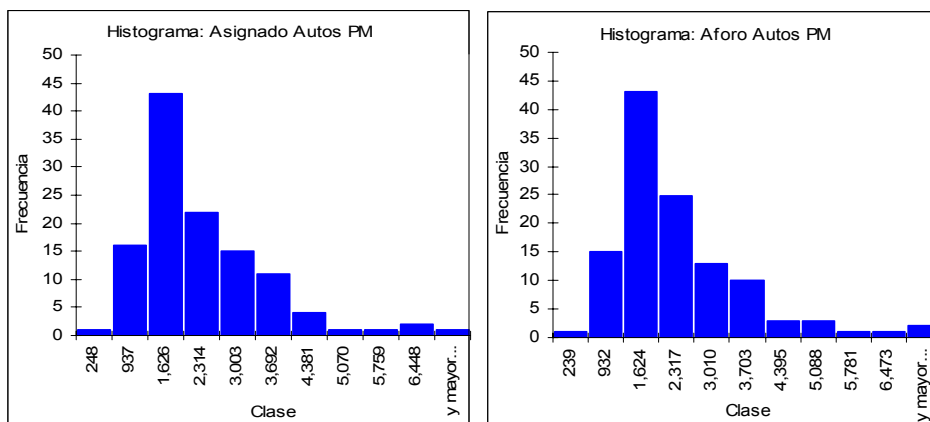
Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Pasajeros AM: Asignados Vs Aforos						
Filas	86,156,685	33	2,610,809	164.011	0.0%	1.788
Columnas	79,129	1	79,129	4.971	3.3%	4.139
Error	525,311	33	15,919			
Total	86,761,125	67				
Pasajeros PM: Asignados Vs Aforos						
Filas	73,975,088	33	2,241,669	252.471	0.0%	1.788
Columnas	88,751	1	88,751	9.996	0.3%	4.139
Error	293,004	33	8,879			
Total	74,356,843	67				
Autos AM: Asignados Vs Aforos						
Filas	398,359,476	122	3,265,242	116.691	0.0%	1.349
Columnas	42,537	1	42,537	1.520	22.0%	3.919
Error	3,413,795	122	27,982			
Total	401,815,808	245				
Autos PM: Asignados Vs Aforos						
Filas	358,774,822	116	3,092,886	120.302	0.0%	1.359
Columnas	84,753	1	84,753	3.297	7.2%	3.923
Error	2,982,282	116	25,709			
Total	361,841,858	233				

Fuente: Elaborado propia

De manera similar a los resultados obtenidos para diferencia de medias; en este caso es posible apreciar que para un nivel de confianza del 95% la prueba estadística es suficientemente significativa para rechazar la hipótesis nula planteada, y concluir que las variaciones de las distribuciones llegan a ser iguales, para el caso de Pasajeros AM y PM, mientras que para el caso de Autos PM, la prueba es significativa al 90%, y es aceptable a un 78% de confianza para el caso de Autos AM.

Con la finalidad de tener una mejor apreciación de los resultados, se anexan a continuación los gráficos de las distribuciones correspondientes.





4.6 PRONÓSTICO DE LA DEMANDA

En el presente capítulo se describe la metodología que se siguió para estimar la situación esperada en los sistemas de transporte privado y público en los años horizonte: 2011, 2016 y 2026. Lo anterior en el marco de no presentarse cambios representativos en la oferta del transporte en una ciudad que evoluciona e incrementa sus necesidades de movilidad año con año.

Se presenta la metodología aplicada para la estimación de matrices de demanda de viajes futuros en transporte privado y en transporte público. Se describe la conformación de los escenarios de línea base en cada uno de los horizontes de planeación, tanto para el componente de oferta de vialidad como transporte público.

4.6.1 Modelos de demanda

El propósito de este inciso es presentar la metodología que se está aplicando para la estimación de la demanda de viajes en transporte privado y en transporte público, para los años de análisis futuro.

Es importante mencionar que los modelos de proyección de la demanda se basan en técnicas econométricas fundamentadas en el comportamiento esperado de variables explicativas, cuya proyección se describe en el apartado de pronóstico de variables socioeconómicas para la zona metropolitana de Chihuahua.

4.6.1.1 Modelos de generación y atracción de viajes

El análisis de la generación de la demanda o de los viajes, es de fundamental importancia una vez que es en esta etapa que se define la demanda global que será

atendida en los diferentes horizontes de estudio. El objetivo de estos modelos es permitir una estimación de las demandas totales producidas y atraídas por cada zona de tránsito del área de estudio, en un determinado periodo de tiempo.

La estimación de estos modelos de demanda envuelve dos términos: la producción, que consiste en la demanda originada o producida en cada zona y la atracción, que consiste en la demanda destinada o consumida en cada zona.

Puesto que la demanda de transporte se deriva de la demanda de otras actividades, los modelos de generación de viajes se desarrollan con criterios diferentes para cada tipo de transporte (privado y público), teniendo en cuenta que los usuarios en cada caso tienen motivaciones distintas para realizar sus viajes.

En el caso particular del presente estudio, se establecieron modelos de regresión múltiple para agrupaciones por periodo de máxima demanda (AM o PM); tipo de vehículo (automóvil particular o transporte público) y motivo de viaje (laboral, escolar u otro).

El análisis estadístico a través del método de regresión múltiple, permite establecer una relación matemática entre un conjunto de variables explicativas o independientes y una dependiente. En este caso de estimación, las variables explicativas corresponden a las socioeconómicas y la variable dependiente al total de viajes generados y atraídos en cada zona de tránsito.

Un paso importante en la construcción de un modelo de regresión es el de la elección de cuáles variables incluir y cuáles no. En general se está buscando estructurar modelos sobre la base de que sean sencillos y que requieran la menor cantidad de suposiciones para su construcción (es lo que se denomina principio de parsimonia).

Para poder decidir entre utilizar un modelo con unas determinadas variables o con otras, fue preciso disponer de una medida de comparación entre modelos.

En las regresiones lineales se tienen distintos criterios de comparación como el estadístico F, la R^2 ajustada y el valor del logaritmo de máxima verosimilitud. En el caso de contraste entre dos modelos que difieren en una sola variable, es idéntico utilizar el estadístico F que el valor del estadístico t individual para el coeficiente de regresión de cada parámetro estimado.

En las regresiones no lineales y en general en cualquier modelo de regresión cuyos coeficientes son estimados por el método de máxima verosimilitud, se está utilizando el cociente de verosimilitud. Con el coeficiente se define cuánto más probable (verosímil) es un modelo frente al otro. En los casos en que no es suficientemente el coeficiente para determinar que un modelo es mejor que el otro, se selecciona el más sencillo.

Se ha trabajado con una estrategia sistemática para la elección de variables, en la que en cada nuevo modelo, se incluye una nueva variable, además de considerar el mantener las que ya se habían añadido en el modelo previo, es decir, se van añadiendo aquellas variables de interacciones que mejoraron significativamente el modelo.

Conviene mencionar que dentro del proceso, es muy importante un cuidadoso análisis de los valores extremos (conocidos en inglés como *outliers*) y capturar su comportamiento a través de variables dummy (variables que toman sólo el valor de cero o uno). Es recomendable efectuar un análisis de regresión con y sin el efecto de estos *outliers* capturado a través de una variable dummy para valorar cómo afecta su presencia a los coeficientes de la ecuación de regresión.

Los modelos que han sido calibrados mediante el uso de las variables socioeconómicas referidas para cada zona de tránsito al año 2006, han reproducido confiablemente los viajes totales producidos y atraídos para las agrupaciones de zonas definidas.

La forma funcional de los modelos de generación y atracción de viajes puede representarse de la siguiente forma:

$$V_i = \alpha \lambda_i^\beta$$

V_i : Viajes generados o atraídos por la zona i

α : Parámetro constante a estimar

λ_i : Valor de la variable socioeconómica seleccionada en la zona i

β : Parámetro asociado a la variable explicativa a estimar

La ecuación anterior puede ser expresada en logaritmos con el fin de introducirla en un modelo de regresión lineal:

$$\ln(V_i) = \alpha + \beta \ln(\lambda_i)$$

Al estimar el modelo en logaritmos el coeficiente β se convierte directamente en la elasticidad de la variable seleccionada con respecto al número de viajes producidos o consumidos por la zona i . Es decir β proporciona directamente la relación de crecimiento entre la variable socioeconómica y la generación o atracción de viajes de la zona. Por ejemplo, si en un periodo determinado la variable elegida crece 10% y el valor de β es de 0.5, el crecimiento inducido en los viajes producidos o consumidos debido a este incremento en el indicador socioeconómico debería ser igual a 5%.

Descripción del modelo

Se emplearon diversos modelos de regresión lineal para explicar el comportamiento obtenido a partir de la matriz de viajes, derivada de la encuesta de hogares, con lo cual se obtuvo información sobre los tipos de viajes realizados por la población por modo de transporte utilizado, motivo de viaje y periodo de máxima demanda (AM o PM). Estos modelos explican las variaciones en la demanda de transporte a través de una serie de variables socioeconómicas previamente seleccionadas.

Los modelos seleccionados para este estudio se desagregaron por modo de transporte y motivo de viaje, obteniendo un mínimo de cinco modelos diferentes, como resultado del ajuste realizado al combinar las distintas variables socioeconómicas seleccionadas con los viajes observados para cada categoría considerada. Las variables utilizadas en cada modelo se fundamentaron en que tuvieran una explicación cualitativa del viaje.

Se realizó una selección exhaustiva del mejor ajuste mediante el análisis de los estadísticos generados por el paquete econométrico (EViews). Se evaluaron las variables explicativas de acuerdo con una serie de criterios estadísticos con el fin de validar la confiabilidad de los modelos empleados. Los indicadores tomados en cuenta en esta evaluación fueron los siguientes:

- **Estadístico t :** Mide la validez del valor estimado para los coeficientes de los modelos. Un valor mayor a 2 en términos absolutos valida los coeficientes estimados por el modelo.

- **Probabilidad Estadístico t:** Mide si el coeficiente estimado es significativamente distinto a cero, mientras menor sea el valor de la probabilidad asociada al estadístico t, mayor es la posibilidad de que el parámetro calculado por el modelo sea significativamente distinto de cero. Se acepta una probabilidad menor o igual a 0.05 (5%) como un indicador que el coeficiente estimado es significativamente distinto de cero.
- **Durbin Watson:** Mide el grado de autocorrelación del modelo. Se acepta un valor cercano a 2, lo cual indica que el modelo empleado tiene una alta correlación. Este estadístico es empleado, esencialmente, en series de tiempo. En modelos de sección cruzada su utilidad como criterio de discriminación disminuye.
- **Estadístico F:** Mide si en conjunto, los coeficientes estimados por el modelo son significativamente distintos a cero. Mientras más coeficientes sean significativamente distintos de cero, mayor será el valor del estadístico F y menor será el valor de su probabilidad asociada.
- **Probabilidad Estadístico F:** Indica el grado de significación estadística del conjunto de coeficientes estimados en la ecuación. Mientras más cercano a cero sea el valor de esta probabilidad mayor será la significancia agregada del modelo.
- **Coeficientes de correlación R^2 y R^2 ajustada:** Mide el grado de ajuste de las proyecciones del modelo de la variable dependiente con lo observado en la realidad, indicando el porcentaje de relación entre las variables explicativas y la dependiente. En modelos de sección cruzada, el valor de este estadístico tiende a no ser muy alto, ya que es un indicador mas apropiado para series de tiempo, dado que trata de ajustar los valores a una curva de pendiente positiva.
- **Suma cuadrática de errores de la regresión:** Es una medida de dispersión absoluta entre lo estimado por el modelo y lo observado en la realidad. En general se seleccionará el modelo con una menor suma de errores al cuadrado.

Dada la cantidad de modelos estimados (alrededor de ciento veinte) sería una tarea abrumadora tratar de explicar el proceso de discriminación y selección para cada uno de ellos; por lo que se decidió ilustrar el método empleado a través de uno de las categorías analizadas, para posteriormente presentar los estadísticos generales de los modelos empleados.

Proceso de discriminación y selección:

Tipo de modelo: Generación

Motivo de viaje: Otro

Tipo de vehículo: Automóvil

Periodo: AM

Tabla 4.19 Proceso de discriminación y selección

Auto AM	Modelo	Coficiente (signo esperado correcto)	Prueba individual (estadístico t superior a 2)	Prueba global (mayor estadístico F)	R2 (cercano a 1)	R2 ajustada (cercano a 1)	D-W (cercano a 2)	Suma de errores al cuadrado (menor valor)
Otro	POB	0.332	3.538	27.694	0.130	0.126	1.299	196.229
	PEA	0.330	3.527	28.721	0.134	0.130	1.303	195.287
	EMPLEO*	0.255	2.641	17.106	0.085	0.080	1.239	206.401
	PVEHI	0.307	3.237	22.945	0.110	0.106	1.287	200.712
	VIVIENDA	0.354	3.564	30.854	0.143	0.138	1.309	193.357

* El empleo considerado en este modelo es el derivado del censo de población no del censo económico.

Fuente: Elaboración propia del grupo consultor.

El caso ilustrado en el cuadro anterior presenta el ajuste del modelo y el valor de los indicadores de selección de acuerdo a los distintas variables empleadas. Como se puede apreciar dentro del conjunto de agrupaciones individuales la vivienda particular habitada (VIVIENDA) es el que presenta los mejores estadísticos tanto individuales como globales y su coeficiente tiene el signo esperado (positivo). En el cuadro anterior no se consideran combinaciones lineales de las variables socioeconómicas dentro de un mismo modelo debido que al incluir dos o más indicadores de naturaleza similar en una sola regresión se produce el fenómeno de multicolinealidad dónde las variables

independientes se encuentran correlacionadas y se explican mutuamente en lugar de a la variable dependiente. En esta situación, los resultados de los modelos que emplean combinación de variables socioeconómicas no pueden ser considerados como válidos.

Una vez seleccionado el modelo a emplear, se verifica si dentro de la gráfica de los residuales no se presentan valores extremos u *outliers*, cuyo efecto esté afectando los estadísticos de la ecuación. En caso de considerarse necesario se pueden capturar el efecto de estos valores extremos a través del empleo de variables dummies que toman valores absolutos entre cero y la unidad. Como se puede apreciar en el siguiente cuadro, al capturar el efecto de los *outliers* dentro del modelo mejora los indicadores globales e individuales del mismo, sin alterar significativamente el valor del coeficiente asociado a vivienda particular habitada.

Tabla 4.20 Ajuste por valores extremos

Auto AM	Modelo	Coeficiente (signo esperado correcto)	Prueba individual (estadístico t superior a 2)	Prueba global (mayor estadístico F)	R2 (cercano a 1)	R2 ajustada (cercano a 1)	D-W (cercano a 2)	Suma de errores al cuadrado (menor valor)
Otro	VIVIENDA (Sin Dummy)	0.354	3.564	30.854	0.143	0.138	1.309	193.357
	VIVIENDA (Con Dummy)	0.328	5.776	70.555	0.434	0.428	1.181	127.684

Fuente: Elaboración propia del grupo consultor.

A continuación se presentan los resultados de los estadísticos individuales y globales de los modelos seleccionados, a partir de los cuales se elaboran las proyecciones de generación y atracción de viajes para cada zona de tránsito considerada.

AM Auto trabajo.

Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 1 13875
Included observations: 8582

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1.433	0.199	-7.188	0.000
LN (GENERACION)	0.384	0.026	14.881	0.000

LN (ATRACCION)	0.223	0.019	12.009	0.000
LN (IMPEDANCIA)	-0.891	0.035	-25.232	0.000

R-squared	0.134	Log likelihood	-18233.327
Adjusted R-squared	0.134	Durbin-Watson stat	0.812
S.E. of regression	2.026	F-statistic	443.909
Sum squared resid	35198.105	Prob(F-statistic)	0.000

AM Auto escuela.

Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 1 13867
Included observations: 5142

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1.332	0.222	-5.988	0.000
LN (GENERACION)	0.511	0.027	19.050	0.000
LN (ATRACCION)	0.221	0.022	10.242	0.000
LN (IMPEDANCIA)	-1.131	0.038	-29.817	0.000

R-squared	0.219	Log likelihood	-10525.690
Adjusted R-squared	0.218	Durbin-Watson stat	0.689
S.E. of regression	1.875	F-statistic	478.914
Sum squared resid	18057.683	Prob(F-statistic)	0.000

AM Auto otros.

Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample: 1 13889
Included observations: 6343

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1.441	0.204	-7.049	0.000
LN (GENERACION)	0.345	0.026	13.279	0.000

LN (ATRACCION)	0.317	0.024	13.045	0.000
LN (IMPEDANCIA)	-1.054	0.039	-26.930	0.000

R-squared	0.175	Log likelihood	-13630.220
Adjusted R-squared	0.174	Durbin-Watson stat	0.689
S.E. of regression	2.076	F-statistic	446.756
Sum squared resid	27308.430	Prob(F-statistic)	0.000

AM Transporte público trabajo

Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 10 6303
Included observations: 3290

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-3.207	0.200	-16.017	0.000
LN (GENERACION)	0.602	0.030	20.063	0.000
LN (ATRACCION)	0.394	0.022	18.029	0.000
LN (IMPEDANCIA)	-0.444	0.046	-9.574	0.000

R-squared	0.226	Log likelihood	-6067.979
Adjusted R-squared	0.226	Durbin-Watson stat	0.717
S.E. of regression	1.531	F-statistic	320.626
Sum squared resid	7704.092	Prob(F-statistic)	0.000

AM Transporte público escuela

Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 5 6288
Included observations: 2346

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-2.675	0.207	-12.932	0.000
LN (GENERACION)	0.682	0.031	21.746	0.000
LN (ATRACCION)	0.340	0.024	14.398	0.000

LN (IMPEDANCIA)	-0.601	0.042	-14.291	0.000
-----------------	--------	-------	---------	-------

R-squared	0.279	Log likelihood	-4211.5450
Adjusted R-squared	0.278	Durbin-Watson stat	0.5637
S.E. of regression	1.458	F-statistic	302.2152
Sum squared resid	4979.051	Prob(F-statistic)	0.0000

AM Transporte público otros

Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 1 6298
Included observations: 1668

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-2.941	0.187	-15.726	0.000
LN (GENERACION)	0.649	0.023	28.768	0.000
LN (ATRACCION)	0.424	0.029	14.736	0.000
LN (IMPEDANCIA)	-0.381	0.063	-6.032	0.000

R-squared	0.325	Log likelihood	-3032.459
Adjusted R-squared	0.324	Durbin-Watson stat	0.572
S.E. of regression	1.492	F-statistic	267.616
Sum squared resid	3705.396	Prob(F-statistic)	0.000

PM Auto trabajo.

Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 89 10748
Included observations: 2146

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LN (GENERACION)	0.068	0.025	2.656	0.008
LN (ATRACCION)	0.225	0.024	9.561	0.000
LN (IMPEDANCIA)	-0.310	0.053	-5.830	0.000
DUMMY	-6.857	0.176	-38.955	0.000

R-squared	0.159	Sum squared resid	8111.236
Adjusted R-squared	0.157	Log likelihood	-4471.751
S.E. of regression	1.946	Durbin-Watson stat	0.749

PM Auto escuela.

Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 1 10742
Included observations: 1097

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LN (GENERACION)	0.365	0.032	11.234	0.000
LN (ATRACCION)	0.072	0.032	2.229	0.026
LN (IMPEDANCIA)	-0.361	0.074	-4.865	0.000
DUMMY	-6.343	0.339	-18.711	0.000

R-squared	0.239	Sum squared resid	3709.877
Adjusted R-squared	0.237	Log likelihood	-2224.879
S.E. of regression	1.842	Durbin-Watson stat	0.525

PM Auto otros.

Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 1 10744
Included observations: 9037

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1.876	0.214	-8.761	0.0000
LN (GENERACION)	0.302	0.021	14.400	0.0000
LN (ATRACCION)	0.354	0.023	15.074	0.0000
LN (IMPEDANCIA)	-0.669	0.032	-20.938	0.0000

R-squared	0.118	Log likelihood	-18872.620
Adjusted R-squared	0.118	Durbin-Watson stat	0.857
S.E. of regression	1.954	F-statistic	403.534
Sum squared resid	34473.610	Prob(F-statistic)	0.000

PM Transporte público trabajo

Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 55 4057
Included observations: 225

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1.162	0.119	-9.803	0.000
LN (GENERACION)	0.310	0.025	12.502	0.000
LN (ATRACCION)	0.637	0.028	23.067	0.000
LN (IMPEDANCIA)	-0.221	0.050	-4.420	0.000
DUMMY	-1.160	0.047	-24.772	0.000

R-squared	0.889	Log likelihood	-152.588
Adjusted R-squared	0.887	Durbin-Watson stat	1.013
S.E. of regression	0.482	F-statistic	439.661
Sum squared resid	51.140	Prob(F-statistic)	0.000

PM Transporte público escuela

Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 61 4096
Included observations: 224

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1.011	0.376	-2.687	0.008
LN (GENERACION)	0.776	0.058	13.300	0.000
LN (ATRACCION)	0.215	0.066	3.244	0.001

LN (IMPEDANCIA)	-0.353	0.125	-2.833	0.005
DUMMY	-2.627	0.213	-12.323	0.000

R-squared	0.526	Log likelihood	-322.291
Adjusted R-squared	0.517	Durbin-Watson stat	0.717
S.E. of regression	1.032	F-statistic	60.697
Sum squared resid	233.076	Prob(F-statistic)	0.000

PM Transporte público otros

Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample: 1 4163
Included observations: 3779

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-4.010	0.190	-21.053	0.000
LN (GENERACION)	0.510	0.025	20.557	0.000
LN (ATRACCION)	0.569	0.024	24.150	0.000
LN (IMPEDANCIA)	-0.161	0.037	-4.340	0.000

R-squared	0.214	Log likelihood	-6764.549
Adjusted R-squared	0.213	Durbin-Watson stat	0.752
S.E. of regression	1.450	F-statistic	341.877
Sum squared resid	7937.956	Prob(F-statistic)	0.000

4.6.1.2 Modelos de distribución de viajes

La distribución de la demanda tiene como objetivo dar una estimativa de los intercambios de viajes entre las zonas de tránsito en el entorno del área de estudio.

Los modelos utilizados en esta etapa adoptan las estimaciones de generaciones y atracciones por cada una de las zonas de tránsito e información sobre la estructura de la distribución de la demanda. El resultado de la aplicación de este tipo de modelo es una matriz de demanda, donde cada celda contiene una medida de la intensidad del intercambio entre un determinado par de zonas.

El consultor dentro de las técnicas existentes: métodos de factores de crecimiento (media aritmética, media geométrica por método de Detroit, método Fratar, etc.), modelos de oportunidad y modelos gravitacionales, ha decidido considerar a estos últimos para la estructuración de esta etapa de estimación.

La fuente principal de información para la conformación de los modelos gravitacionales fue la EHODCH, en la cual se obtuvieron datos por motivo de viaje y niveles ingreso, suficientes para la adecuada caracterización de los viajes para diversos rangos de distancia en cada tipo de transporte.

Los modelos de gravedad se fundamentan en el principio básico de que el flujo entre dos zonas, es proporcional a la generación de la zona origen y a la atracción de la zona destino, pero decrece con la distancia que las separa o con el costo de transporte entre ellas.

La estructura de los modelos elaborados es:

$$N_{ij} = \alpha g_i \cdot a_j e^{-\beta \cdot C_{ij}}$$

donde:

N_{ij} : flujo esperado entre las zonas i y j.

g_i : generación de la zona i

a_j : atracción de la zona j

C_{ij} : costo del transporte entre i y j

α , β : parámetros ajustados durante la calibración de los modelos

Los modelos gravitacionales desarrollados para estimar la distribución de los viajes que se espera generen y atraigan las nuevas zonas de expansión urbana, se fundamentaron en reproducir el patrón de movilidad observado a través de la encuesta de hogares, en zonas de tránsito actualmente consolidadas.

De esta manera para cada zona de expansión futura, se seleccionó una zona actual de referencia para calibrar la distribución de los flujos respecto a los principales centros generadores y atractores de viajes. La elección de la zona de referencia se efectuó considerando que además de estar ubicada en el mismo sector urbano que la zona de expansión, tuviese características socioeconómicas semejantes a las esperadas en la de nuevo desarrollo.

Con los modelos de gravedad calibrados, se procedió a hacer la estimación de la distribución de las submatrices por segmento de demanda, del grupo de zonas de expansión que se espera esté asentado en cada año de evaluación.

Este proceso se siguió metodológicamente de la misma manera, para la estimación de la demanda futura del transporte privado y público de las zonas de expansión urbana.

A continuación se muestran los modelos seleccionados por segmento de demanda.

AM Auto trabajo.

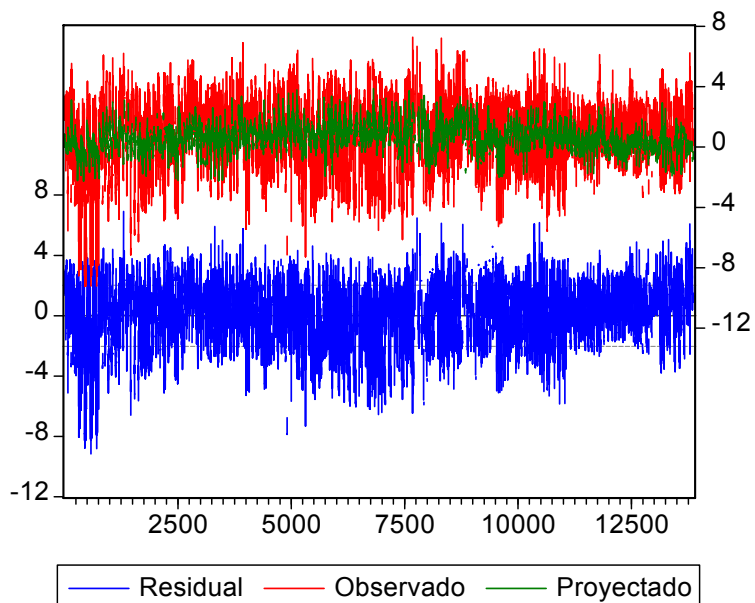
Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 1 13875
Included observations: 8582

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1.433	0.199	-7.188	0.000
LN (GENERACION)	0.384	0.026	14.881	0.000
LN (ATRACCION)	0.223	0.019	12.009	0.000
LN (IMPEDANCIA)	-0.891	0.035	-25.232	0.000

R-squared	0.134	Log likelihood	-18233.327
Adjusted R-squared	0.134	Durbin-Watson stat	0.812
S.E. of regression	2.026	F-statistic	443.909
Sum squared resid	35198.105	Prob(F-statistic)	0.000

Gráfico de valores actuales, proyectados y residuales.

Modelo: AM Auto trabajo.



AM Auto escuela.

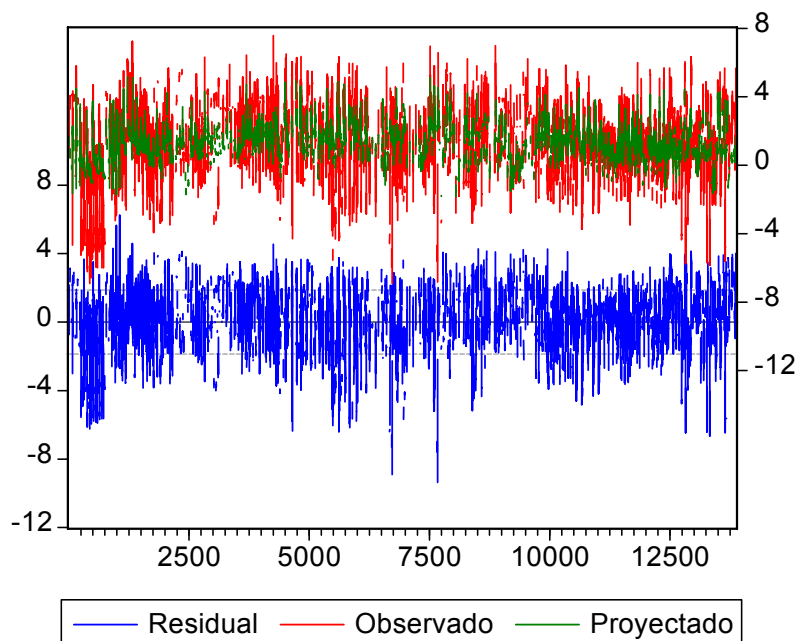
Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 1 13867
Included observations: 5142

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1.332	0.222	-5.988	0.000
LN (GENERACION)	0.511	0.027	19.050	0.000
LN (ATRACCION)	0.221	0.022	10.242	0.000
LN (IMPEDANCIA)	-1.131	0.038	-29.817	0.000

R-squared	0.219	Log likelihood	-10525.690
Adjusted R-squared	0.218	Durbin-Watson stat	0.689
S.E. of regression	1.875	F-statistic	478.914
Sum squared resid	18057.683	Prob(F-statistic)	0.000

Gráfico de valores actuales, proyectados y residuales.

Modelo: AM Auto escuela.



AM Auto otros.

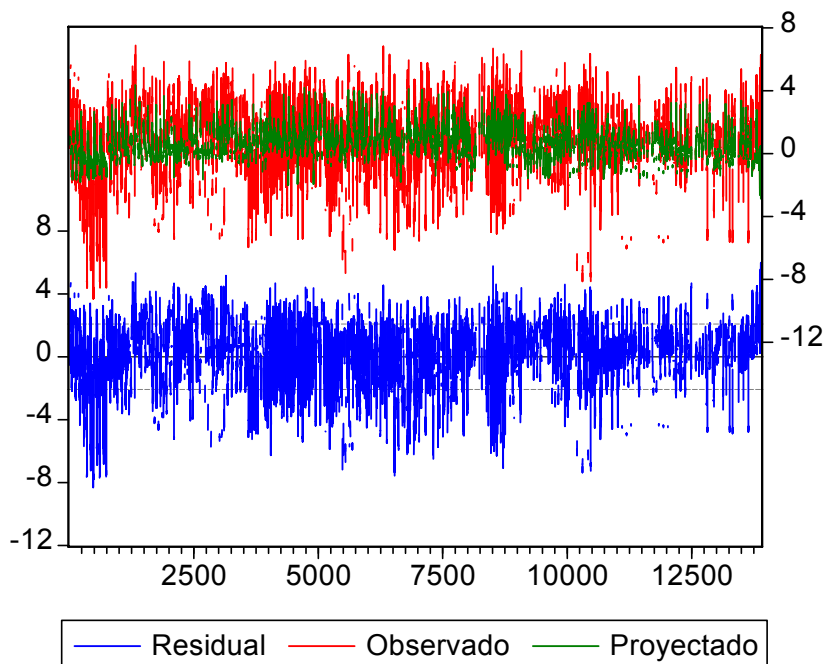
Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample: 1 13889
Included observations: 6343

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1.441	0.204	-7.049	0.000
LN (GENERACION)	0.345	0.026	13.279	0.000
LN (ATRACCION)	0.317	0.024	13.045	0.000
LN (IMPEDANCIA)	-1.054	0.039	-26.930	0.000

R-squared	0.175	Log likelihood	-13630.220
Adjusted R-squared	0.174	Durbin-Watson stat	0.689
S.E. of regression	2.076	F-statistic	446.756
Sum squared resid	27308.430	Prob(F-statistic)	0.000

Gráfico de valores actuales, proyectados y residuales.

Modelo: AM Auto otros.



AM Transporte público trabajo

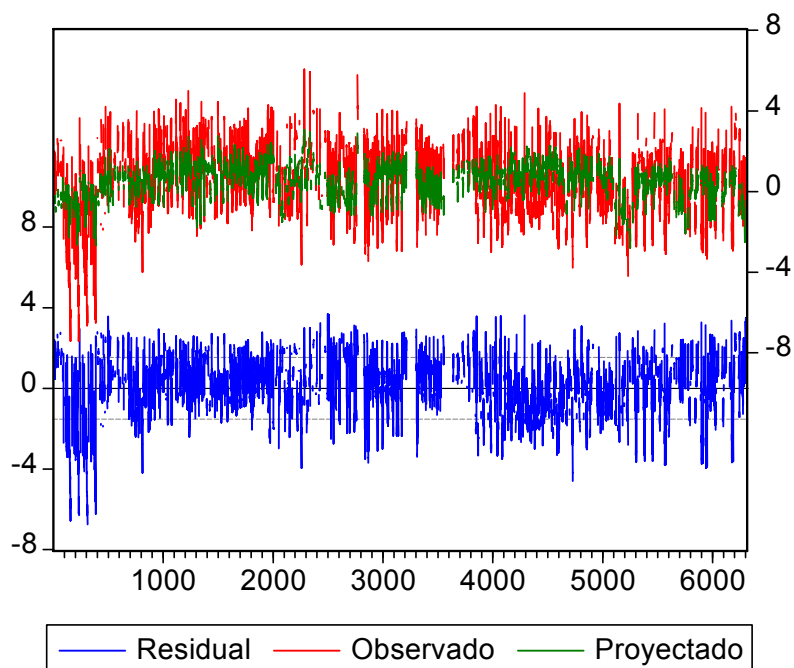
Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 10 6303
Included observations: 3290

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-3.207	0.200	-16.017	0.000
LN (GENERACION)	0.602	0.030	20.063	0.000
LN (ATRACCION)	0.394	0.022	18.029	0.000
LN (IMPEDANCIA)	-0.444	0.046	-9.574	0.000

R-squared	0.226	Log likelihood	-6067.979
Adjusted R-squared	0.226	Durbin-Watson stat	0.717
S.E. of regression	1.531	F-statistic	320.626
Sum squared resid	7704.092	Prob(F-statistic)	0.000

Gráfico de valores actuales, proyectados y residuales.

Modelo: AM TP trabajo.



AM Transporte público escuela

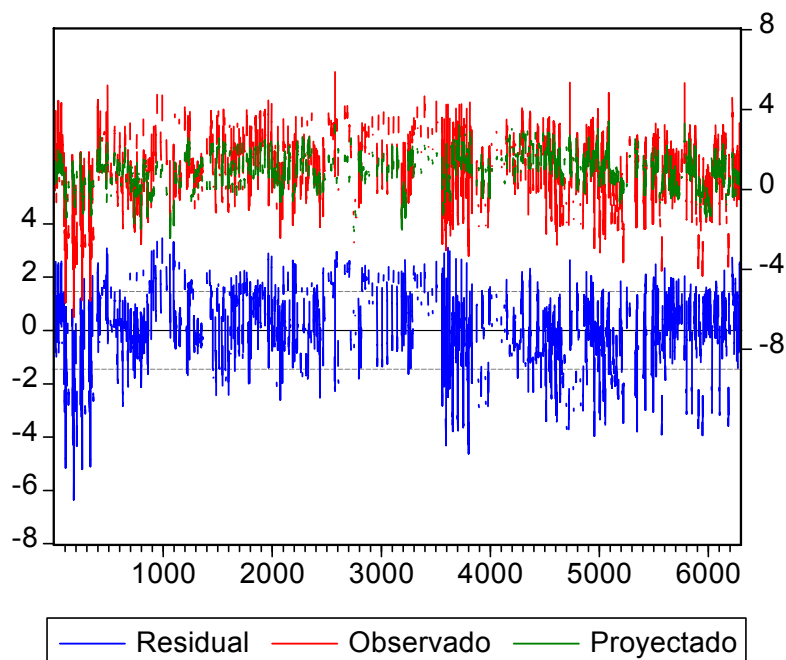
Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 5 6288
Included observations: 2346

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-2.675	0.207	-12.932	0.000
LN (GENERACION)	0.682	0.031	21.746	0.000
LN (ATRACCION)	0.340	0.024	14.398	0.000
LN (IMPEDANCIA)	-0.601	0.042	-14.291	0.000

R-squared	0.279	Log likelihood	-4211.5450
Adjusted R-squared	0.278	Durbin-Watson stat	0.5637
S.E. of regression	1.458	F-statistic	302.2152
Sum squared resid	4979.051	Prob(F-statistic)	0.0000

Gráfico de valores actuales, proyectados y residuales.

Modelo: AM TP escuela.



AM Transporte público otros

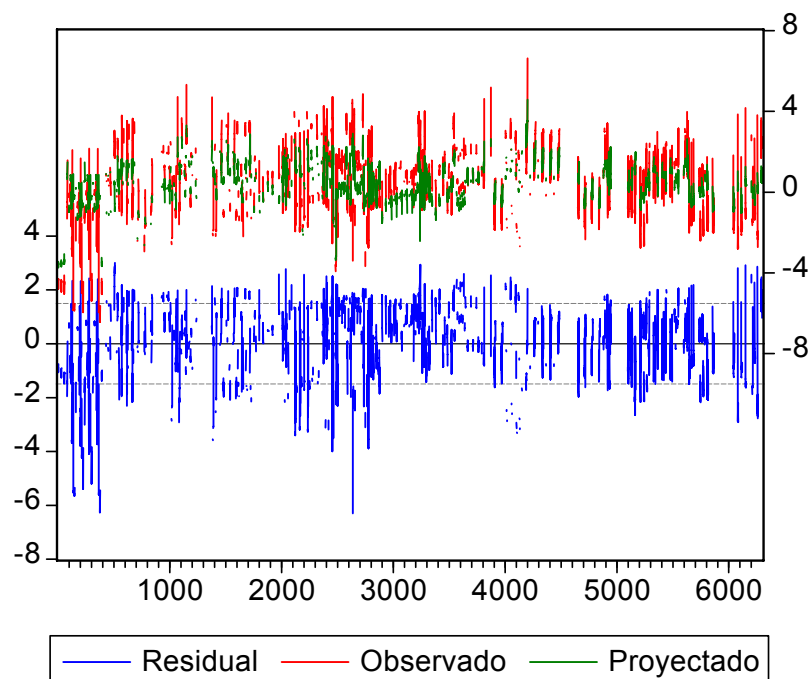
Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 1 6298
Included observations: 1668

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-2.941	0.187	-15.726	0.000
LN (GENERACION)	0.649	0.023	28.768	0.000
LN (ATRACCION)	0.424	0.029	14.736	0.000
LN (IMPEDANCIA)	-0.381	0.063	-6.032	0.000

R-squared	0.325	Log likelihood	-3032.459
Adjusted R-squared	0.324	Durbin-Watson stat	0.572
S.E. of regression	1.492	F-statistic	267.616
Sum squared resid	3705.396	Prob(F-statistic)	0.000

Gráfico de valores actuales, proyectados y residuales.

Modelo: AM TP otros.



PM Auto trabajo.

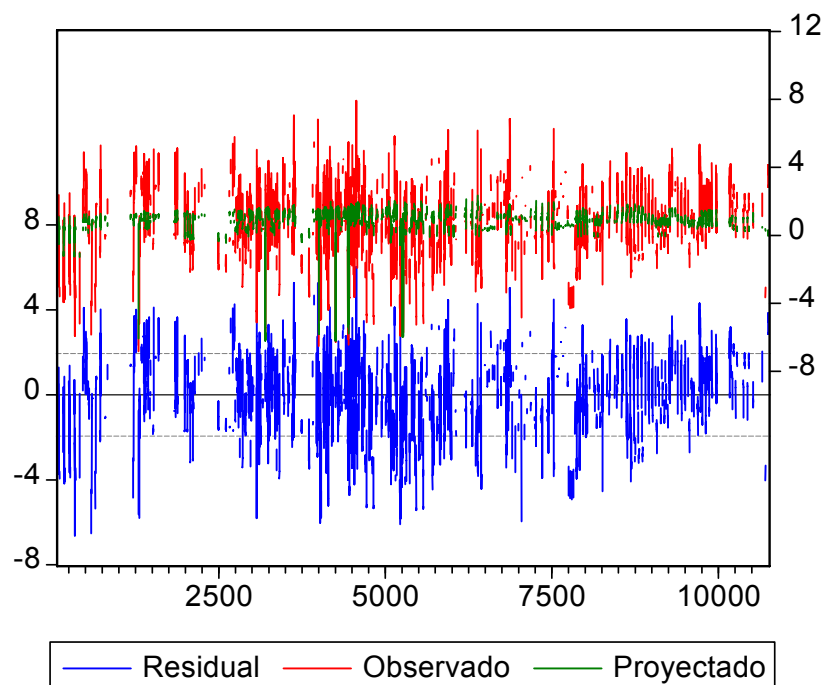
Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 89 10748
Included observations: 2146

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LN (GENERACION)	0.068	0.025	2.656	0.008
LN (ATRACCION)	0.225	0.024	9.561	0.000
LN (IMPEDANCIA)	-0.310	0.053	-5.830	0.000
DUMMY	-6.857	0.176	-38.955	0.000

R-squared	0.159	Sum squared resid	8111.236
Adjusted R-squared	0.157	Log likelihood	-4471.751
S.E. of regression	1.946	Durbin-Watson stat	0.749

Gráfico de valores actuales, proyectados y residuales.

Modelo: PM Auto trabajo.



PM Auto escuela.

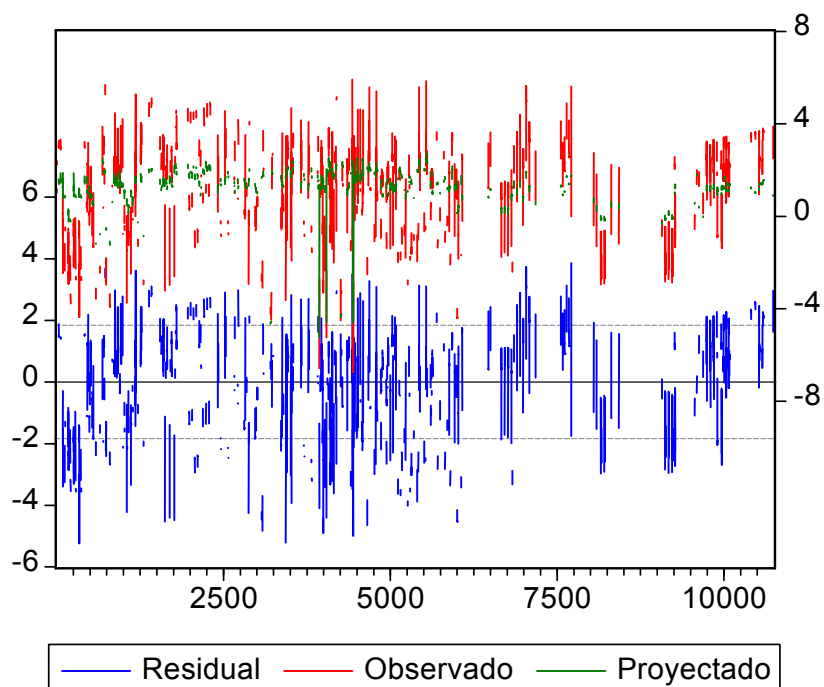
Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 1 10742
Included observations: 1097

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LN (GENERACION)	0.365	0.032	11.234	0.000
LN (ATRACCION)	0.072	0.032	2.229	0.026
LN (IMPEDANCIA)	-0.361	0.074	-4.865	0.000
DUMMY	-6.343	0.339	-18.711	0.000

R-squared	0.239	Sum squared resid	3709.877
Adjusted R-squared	0.237	Log likelihood	-2224.879
S.E. of regression	1.842	Durbin-Watson stat	0.525

Gráfico de valores actuales, proyectados y residuales.

Modelo: PM Auto escuela.



PM Auto otros.

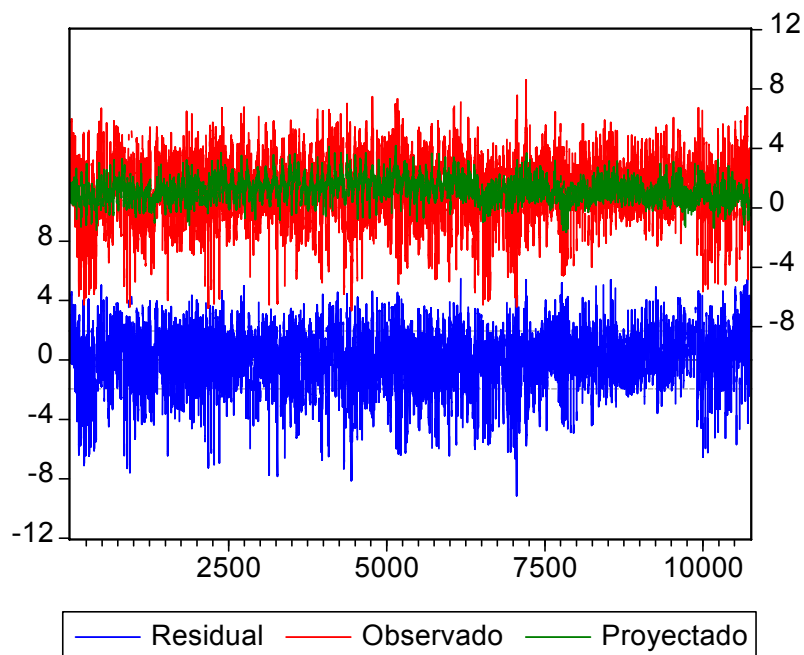
Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 1 10744
Included observations: 9037

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1.876	0.214	-8.761	0.0000
LN (GENERACION)	0.302	0.021	14.400	0.0000
LN (ATRACCION)	0.354	0.023	15.074	0.0000
LN (IMPEDANCIA)	-0.669	0.032	-20.938	0.0000

R-squared	0.118	Log likelihood	-18872.620
Adjusted R-squared	0.118	Durbin-Watson stat	0.857
S.E. of regression	1.954	F-statistic	403.534
Sum squared resid	34473.610	Prob(F-statistic)	0.000

Gráfico de valores actuales, proyectados y residuales.

Modelo: PM Auto otros.



PM Transporte público trabajo

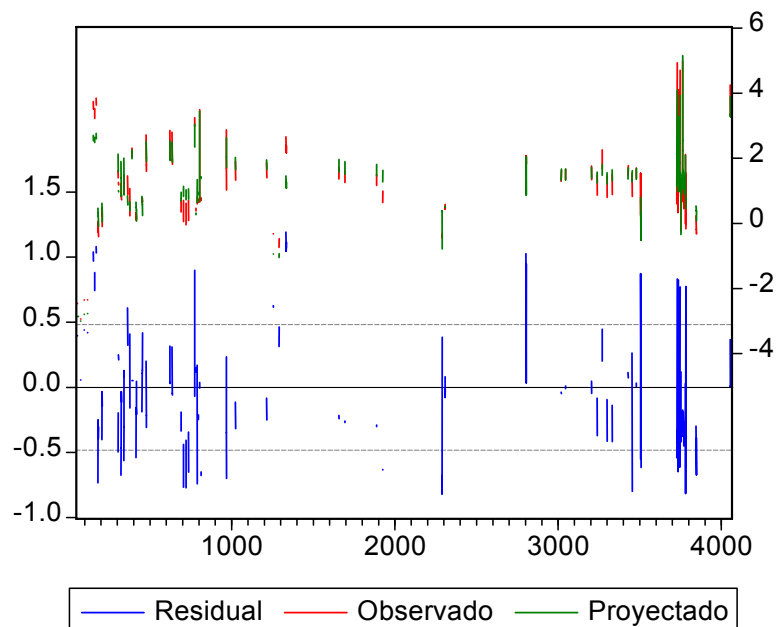
Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 55 4057
Included observations: 225

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1.162	0.119	-9.803	0.000
LN (GENERACION)	0.310	0.025	12.502	0.000
LN (ATRACCION)	0.637	0.028	23.067	0.000
LN (IMPEDANCIA)	-0.221	0.050	-4.420	0.000
DUMMY	-1.160	0.047	-24.772	0.000

R-squared	0.889	Log likelihood	-152.588
Adjusted R-squared	0.887	Durbin-Watson stat	1.013
S.E. of regression	0.482	F-statistic	439.661
Sum squared resid	51.140	Prob(F-statistic)	0.000

Gráfico de valores actuales, proyectados y residuales.

Modelo: PM transporte público trabajo.



PM Transporte público escuela

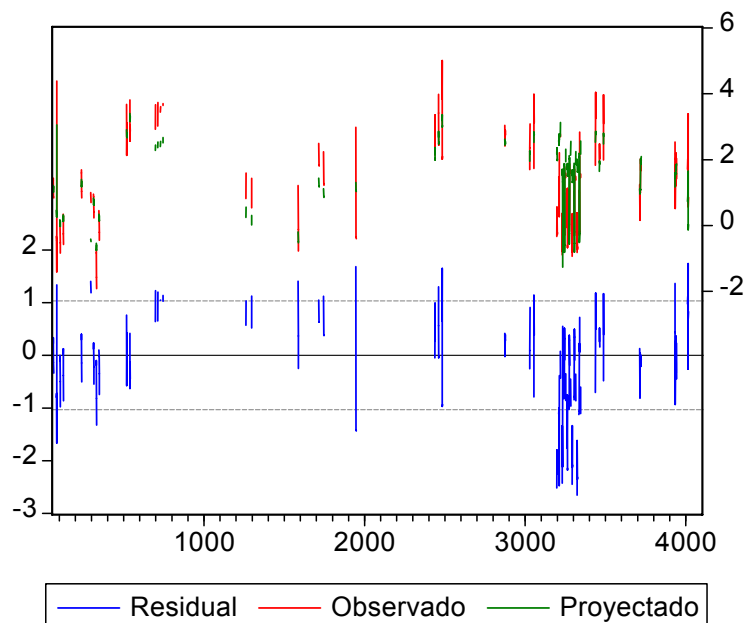
Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample(adjusted): 61 4096
Included observations: 224

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1.011	0.376	-2.687	0.008
LN (GENERACION)	0.776	0.058	13.300	0.000
LN (ATRACCION)	0.215	0.066	3.244	0.001
LN (IMPEDANCIA)	-0.353	0.125	-2.833	0.005
DUMMY	-2.627	0.213	-12.323	0.000

R-squared	0.526	Log likelihood	-322.291
Adjusted R-squared	0.517	Durbin-Watson stat	0.717
S.E. of regression	1.032	F-statistic	60.697
Sum squared resid	233.076	Prob(F-statistic)	0.000

Gráfico de valores actuales, proyectados y residuales.

Modelo: PM transporte público escuela.



PM Transporte público otros

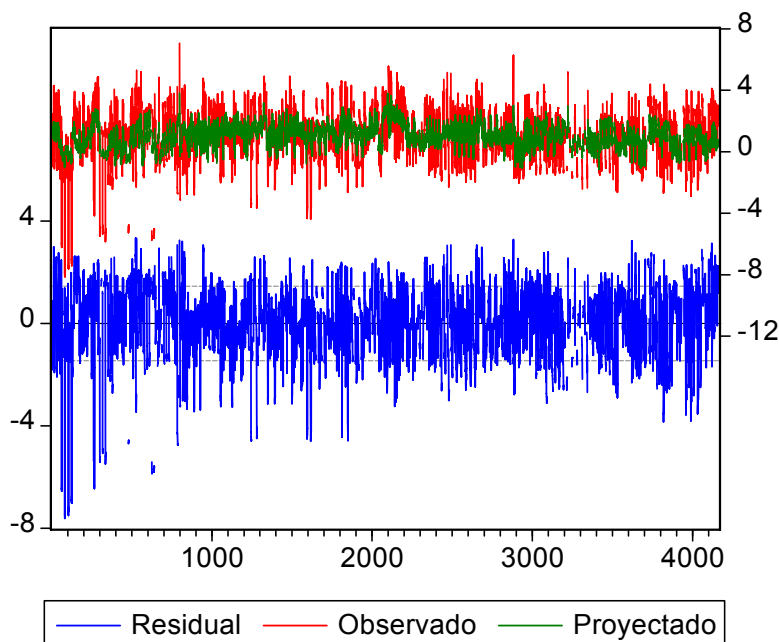
Dependent Variable: LN (VIAJES)
Sample: 1 4163
Included observations: 3779

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-4.010	0.190	-21.053	0.000
LN (GENERACION)	0.510	0.025	20.557	0.000
LN (ATRACCION)	0.569	0.024	24.150	0.000
LN (IMPEDANCIA)	-0.161	0.037	-4.340	0.000

R-squared	0.214	Log likelihood	-6764.549
Adjusted R-squared	0.213	Durbin-Watson stat	0.752
S.E. of regression	1.450	F-statistic	341.877
Sum squared resid	7937.956	Prob(F-statistic)	0.000

Gráfico de valores actuales, proyectados y residuales.

Modelo: PM transporte público otros.



4.7 MODELO DE ELECCIÓN MODAL

El modelo de selección modal fue estimado a partir de las encuestas de preferencia declarada. El modelo, en primera instancia, fue estimado para estudiar las variables que explican la decisión de los chihuahuenses para utilizar cierto modo de transporte actualmente. En el reporte referente a la calibración del modelo de selección modal incluido en el informe, se identifican las variables que explican la decisión actual de utilizar cierto medio de transporte. El análisis se limita a los siguientes modos: caminata o modo no motorizado, transporte público (excluyendo taxis) y vehículos particulares. El modelo entonces, fue estimado para representar y explicar la división modal de los viajes actuales. El modelo fue validado a partir de información recopilada en la encuesta domiciliaria de movilidad.

Sin embargo, debido al diseño y estructura del modelo de transporte utilizado en este estudio, el modelo de selección modal ha sido aplicado solamente para estimar la probabilidad de que exista un cambio modal. Es decir, el modelo ofrecerá la distribución modal actual si se le alimenta al modelo los valores de las variables explicativas actuales; si se le alimentan los valores del sistema futuro, ofrecerá la distribución total futura que incluye un cambio modal.

4.7.1 Introducción

Este inciso registra el diseño, implementación y resultados obtenidos del estudio de preferencia declarada de usuarios del sistema de transporte en Chihuahua, como parte del Plan Sectorial de Movilidad Urbana Sustentable. Como producto principal se presentan las conclusiones y problemas relevantes del diagnóstico de las preferencias hacia los distintos medios de transporte disponibles y además, se presenta el modelo de elección modal que se implementó dentro del modelo de planeación desarrollado dentro del marco del presente estudio.

4.7.2 Objetivos

Las encuestas de preferencia declarada fueron realizadas con la finalidad de cumplir con los siguientes objetivos fundamentales:

- Proveer información acerca de las preferencias de los viajeros acerca del uso de los distintos medios de transporte existentes y atributos de los mismos propuestos.
- Proveer información suficiente para la estimación de modelos de elección discreta que sean utilizados dentro del proceso de modelación de transporte y además permitan la evaluación de cambios propuestos al sistema de transporte.

Es decir, se tiene por objetivo la estimación de modelos de elección discreta que serán utilizados para modelar la decisión de los chihuahuenses para utilizar o no los modos de transporte disponibles ante diferentes condiciones socioeconómicas, del sistema de transporte y del mismo viaje realizado. Este modelo además sirve como base para la estimación del valor subjetivo del tiempo que los individuos encuestados declararon.

4.7.3 Metodología para la realización de las encuestas de preferencia declarada

La metodología utilizada para la realización de las encuestas de preferencia declarada consiste de las siguientes etapas:

- Definición del marco muestral y del tamaño de la muestra: en donde se determina el tamaño de la población en estudio y se estima el tamaño de la muestra requerida para estimar inferencias y modelos que representen significativamente el comportamiento de la población
- Diseño de los formatos, tarjetas y material de apoyo: en donde se diseña el formato de encuesta, las tarjetas que describen los distintos escenarios de elección ante el encuestado y se prepara el material de apoyo para la realización de la encuesta.

- Aplicación de la encuesta piloto: en donde un grupo de encuestadores aplica la encuesta a una muestra pequeña con el objetivo de evaluar el diseño de los formatos y del experimento de preferencia declarada; así como evaluar la capacidad y capacitación de los encuestadores.
- Análisis de la encuesta piloto y diseño de la encuesta definitiva: en donde se analizan las encuestas piloto aplicadas y se realizan los ajustes necesarios para finalizar el diseño de la encuesta definitiva.
- Aplicación de la encuesta definitiva: en donde se aplica la encuesta definitiva hasta obtener el mínimo de muestra requerida.
- Codificación y captura: en donde se codifican, capturan y corrigen las encuestas aplicadas con el objetivo de obtener una base de datos en medio electrónico.
- Análisis de la información: en donde se analiza la base de datos obtenida a partir de las encuestas de preferencia declarada y de la cual se obtienen inferencias de la muestra y se estiman los modelos de elección discreta requeridos para el cumplimiento de los objetivos del estudio.

4.7.4 Definición del marco y tamaño muestral

En primera instancia, es necesario definir marco muestral. En este caso, se define tal como residentes de Ciudad de Chihuahua y mayores de 14 años los cuales, tienen la posibilidad de elegir entre los diferentes medios de transporte disponibles para completar su viaje. Este marco muestral es amplio y se debe a los objetivos del estudio que requiere de la estimación de modelos de elección discreta que permitan representar la elección modal de los residentes de Chihuahua ante distintos escenarios de oferta de transporte. Considerando que la población del área urbana de Chihuahua es de 768,219 habitantes y el número de habitantes mayor a 14 años es de 532,364 que por lo tanto, conforma nuestro marco muestral.

Una vez definido el marco muestral, es necesario definir el tamaño de la muestra a recopilar. El presente estudio fue desarrollado con el objetivo de estimar la probabilidad de elegir cierto modo de transporte bajo ciertas condiciones de oferta de transporte y las condiciones socioeconómicas de la región.

Utilizando el método de muestreo simple aleatorio, se puede estimar el tamaño muestral con la siguiente ecuación:

$$n \geq \frac{q}{rpa^2} \left[\Phi^{-1} \left(\frac{1+\alpha}{2} \right) \right]^2$$

donde:

n es el número de individuos que deberán ser encuestados

q es la probabilidad complementaria de la población

r es el número de escenarios presentados a cada encuestado (en este caso 7)

a es el nivel de exactitud requerido (normalmente 5-10%)

α es el nivel de confianza (0.90)

Φ^{-1} es el valor acumulado inverso de la distribución normal

En función a los resultados obtenidos mediante la encuesta de movilidad de la cual se puede concluir que 61.3% de los encuestados utilizan un vehículo particular, 21.3% caminan y 14.4% utilizan el transporte público y asumiendo que el intervalo de confianza es del 90% y un error aceptado del 5%, la cantidad mínima de encuestas a realizar es de 919.

4.7.5 Diseño de los formularios y material de apoyo

Atendiendo los objetivos del estudio de preferencia declarada y los del modelo de elección modal, se diseñaron los formularios de encuesta utilizados por los encuestadores al realizar el experimento. Así como los formatos para la encuesta de movilidad, se toma como premisa el diseño de formularios fácilmente contestables, fluidos, con secuencia lógica y que eviten el rechazo o el desinterés del encuestado.

El formato de encuesta fue oportunamente entregado a personal del IMPLAN para que conjuntamente con el equipo consultor se definiera el diseño definitivo. El formato de encuesta cuenta con dos secciones: la primera sección investiga características del individuo encuestado y de las características del viaje que se está realizando; la segunda sección presenta el experimento de la encuesta de preferencia declarada. La Figura 4.75 presenta el formato utilizado para la encuesta de preferencia declarada. Las encuestas de la primera sección coinciden con las realizadas en la encuesta de movilidad.

Es pertinente mencionar que las encuestas de preferencia declarada tienen limitaciones similares que aquellas descritas para la encuesta de movilidad efectuada también dentro del marco del presente estudio. Principalmente la limitación relacionada con la fatiga del encuestado ante una experimento largo y complejo como una encuesta de preferencia declarada. Sin embargo, el diseño del cuestionario y experimento ha sido realizado de tal forma que se minimice el sesgo debido a la fatiga del encuestado.

Figura 4.45 Formato de Encuesta de Preferencia Declarada

ENCUESTA DE PREFERENCIA DECLARADA		PLAN SECTORIAL DE MOVILIDAD URBANA SUSTENTABLE DE LA CD. DE CHIHUAHUA																																	
<p>1. Indicar género del entrevistado.</p> <p>Género <input type="checkbox"/> 1 Masculino <input type="checkbox"/> 2 Femenino</p>																																			
<p>2. Para asegurar que hemos incluido todos los sectores, ¿Podría decirme si el rango de sus ingresos mensuales?</p> <p>Ingreso <input type="checkbox"/> 1 menos de 5,000 pesos, <input type="checkbox"/> 2 entre 10 y 20,000 pesos, <input type="checkbox"/> 3 entre 5 y 10,000 pesos, <input type="checkbox"/> 4 más de 20,000 pesos? o <input type="checkbox"/> 5 No tiene ingreso</p>																																			
<p>3. ¿Tiene usted acceso a un vehículo particular?</p> <p>Tenencia <input type="checkbox"/> 1 SI <input type="checkbox"/> 2 NO</p>																																			
<p>4. ¿Cuál fue la HORA DE SALIDA? [HORAS : MINUTOS]</p> <p>Salida <input type="text"/> : <input type="text"/> Hora Minuto</p>																																			
<p>5. ¿Cuál es su HORA DE LLEGADA normalmente? [HORAS : MINUTOS]</p> <p>Llegada <input type="text"/> : <input type="text"/> Hora Minuto</p>																																			
<p>6. ¿Cuál es la ACTIVIDAD PRIMARIA en el destino, o sea el propósito del viaje?</p> <p>Propósito <input type="checkbox"/> 1 trabajo <input type="checkbox"/> 2 Recreación <input type="checkbox"/> 3 Escuela <input type="checkbox"/> 4 Visita social <input type="checkbox"/> 5 Casa <input type="checkbox"/> 6 Otro <input type="checkbox"/> 7 Compras</p>																																			
<p>7. ¿Qué MEDIO DE TRANSPORTE ha utilizado?</p> <p>Modo <input type="checkbox"/> 1 A pie <input type="checkbox"/> 2 Taxi <input type="checkbox"/> 3 Bicicleta <input type="checkbox"/> 4 Autobús urbano <input type="checkbox"/> 5 Motocicleta <input type="checkbox"/> 6 Autobús escolar <input type="checkbox"/> 7 Conduciendo vehículo particular <input type="checkbox"/> 8 Autobús privado <input type="checkbox"/> 9 Pasajero en vehículo particular <input type="checkbox"/> 10 Otro</p>																																			
<p>Sección solo para conductores o pasajeros de vehículos PRIVADO</p> <p>8. Si tiene que pagar por ESTACIONAMIENTO, ¿Cuál es el COSTO?</p> <p>Parqueo <input type="text"/></p>																																			
<p>Sección para personas que NO utilizaron el TRANSPORTE PÚBLICO</p> <p>9. ¿Por qué no utilizó el transporte público para realizar este viaje?</p> <p>NoBus <input type="checkbox"/> 1 Falta de seguridad <input type="checkbox"/> 2 Caminatas largas <input type="checkbox"/> 3 Tiempos de espera <input type="checkbox"/> 4 Condiciones Climáticas <input type="checkbox"/> 5 No hay ruta que me lleve a mi destino <input type="checkbox"/> 6 Unidades sucias <input type="checkbox"/> 7 Precio <input type="checkbox"/> 8 Conductores inseguros <input type="checkbox"/> 9 Autobuses incómodas <input type="checkbox"/> 10 Otra</p>																																			
<p>Sección solo para pasajeros de transporte PÚBLICO</p> <p>10. ¿Cuántas cuadras camina desde su origen hasta la parada del autobús?</p> <p>Cuadras <input type="text"/></p> <p>11. ¿Cuántas cuadras camina desde donde bajo del autobús para llegar a su destino?</p> <p>Cuadras <input type="text"/></p> <p>12. ¿Cuántos autobuses tuvo que tomar para llegar a su destino?</p> <p>Transbordos <input type="text"/></p>																																			
<p>Tarjetas</p> <p>Diseño <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B</p> <table border="1"> <tr> <td>Tarjeta 1</td> <td><input type="checkbox"/> A</td> <td><input type="checkbox"/> B</td> <td><input type="checkbox"/> C</td> <td>Tarjeta 5</td> <td><input type="checkbox"/> A</td> <td><input type="checkbox"/> B</td> <td><input type="checkbox"/> C</td> </tr> <tr> <td>Tarjeta 2</td> <td><input type="checkbox"/> A</td> <td><input type="checkbox"/> B</td> <td><input type="checkbox"/> C</td> <td>Tarjeta 6</td> <td><input type="checkbox"/> A</td> <td><input type="checkbox"/> B</td> <td><input type="checkbox"/> C</td> </tr> <tr> <td>Tarjeta 3</td> <td><input type="checkbox"/> A</td> <td><input type="checkbox"/> B</td> <td><input type="checkbox"/> C</td> <td>Tarjeta 7</td> <td><input type="checkbox"/> A</td> <td><input type="checkbox"/> B</td> <td><input type="checkbox"/> C</td> </tr> <tr> <td>Tarjeta 4</td> <td><input type="checkbox"/> A</td> <td><input type="checkbox"/> B</td> <td><input type="checkbox"/> C</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Tarjeta 1	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	Tarjeta 5	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	Tarjeta 2	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	Tarjeta 6	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	Tarjeta 3	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	Tarjeta 7	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	Tarjeta 4	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C				
Tarjeta 1	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	Tarjeta 5	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C																												
Tarjeta 2	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	Tarjeta 6	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C																												
Tarjeta 3	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	Tarjeta 7	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C																												
Tarjeta 4	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C																																

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.46 Ejemplo de Tarjeta de Encuesta de Preferencia Declarada

Tarjeta 1 de 7			
Características	Medio de Transporte		
	Automóvil	Autobús	Caminata
Generales			
Tiempo Total de Viaje		25	25
Tiempo dentro del Vehículo		15	
Tiempo de Caminata		5	
Tiempo de Espera		5	
Costo de Estacionamiento o Tarifa de Transporte		\$9.00	
Automóvil			
Restricción a Estacionamiento			
Autobús			
Transbordos		0	
Aire Acondicionado		SI	
Sillas Acollonadas		SI	
Viaje siempre sentado		SI	
Qué modo de transporte utilizaría? (Seleccione sólo uno)	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; text-align: center; line-height: 40px;">B</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; text-align: center; line-height: 40px;">C</div> </div>		

Fuente: Elaboración propia

4.7.6 Trabajo en campo

Una vez terminada la etapa de diseño de formularios y tarjetas, se desarrolló la etapa de trabajos de campo. La etapa de trabajo de campo fue dividida en dos partes: la primera etapa consistió en la aplicación de la encuesta piloto y la segunda, la aplicación de la encuesta definitiva. En las siguientes secciones se describirán ambas encuestas, así como los resultados de las mismas.

Encuesta piloto

La encuesta piloto tuvo por objetivo preparar la encuesta definitiva. Se buscó evaluar el diseño de la encuesta, el formato de aplicación, la capacitación y capacidad de los encuestadores. Los resultados de la encuesta piloto fueron utilizados para realizar los ajustes necesarios para la encuesta definitiva.

Los experimentos de preferencia declarada consisten en seleccionar escenarios de elección de un universo de posibles elecciones posibles que satisfagan ciertas propiedades estadísticas y de factibilidad. En este caso, se decidió trabajar con 3 alternativas base que tienen los ciudadanos para realizar su viaje dentro del área urbana de Chihuahua: transporte privado, transporte público y caminata. Se utilizan estas tres alternativas como una muestra significativa de todas las opciones disponibles. Esto está soportado por la encuesta de movilidad que indica que 97% de los viajes son realizados utilizando una de estas tres alternativas. Así mismo, se asume que tales alternativas son independientes y están idénticamente distribuidas.

Dentro de las tres alternativas, se decidió tomar evaluar las siguientes variables:

- Género
- Ingreso
- Accesibilidad a vehículo particular
- Motivo de viaje
- Tiempo total de viaje
- Tiempo dentro del vehículo
- Tiempo de caminata

- Costo de estacionamiento
- Tarifa del transporte
- Restricción al estacionamiento
- Número de transbordos en transporte público
- Provisión de aire acondicionado en unidades de transporte
- Provisión de sillas acolchonadas en unidades de transporte
- Certeza de viajar siempre sentado en transporte

Durante la encuesta piloto, se recopilaron 89 encuestas. Las cuales fueron suficientes para evaluar y ajustar el diseño oficial. Los ajustes realizados fueron relacionados tanto con las preguntas iniciales como con el experimento de preferencia declarada. Así mismo, se decidió realizar dos diseños: un diseño para las personas que tienen accesibilidad a un vehículo y otro para aquellas que no lo tienen. Así las opciones para aquellos con acceso a un auto tienen tres alternativas: auto, transporte público o caminata. En cambio, para aquellos que no tienen acceso a un vehículo particular, solo pueden decidir entre transporte y caminata. Finalmente, se decidió incluir 7 tarjetas de preferencia declarada para cada encuestado en ambos diseños.

Encuesta definitiva

La encuesta definitiva fue realizada entre el día 8 y el 14 de Septiembre del 2006. En total, se recopilaron 952 encuestas de preferencia declarada, cuyo número es mayor a las 919 necesarias. Esto asegura que el error del pronóstico será menor al 5%. Las encuestas fueron realizadas en sitios generadores y atractores de viajes en los cuales se pudo recopilar una muestra representativa de los distintos segmentos de demanda tales como ingreso y motivo de viaje que existen en los usuarios del sistema de transporte de Chihuahua. Los sitios donde se encuestó son los siguientes:

- Universidad Autónoma de Chihuahua
- Plaza del Sol
- Plaza Vallarta
- Plaza El Salado
- Clínica del IMSS

- Oficinas de Gobierno Estatal y Municipal
- Soriana Universidad

4.7.7 Análisis de la información generada

En esta sección se presenta el análisis de la información recopilada mediante las encuestas de preferencia declarada. En primer lugar se presentan estadísticas descriptivas de la información obtenida así como su relación con la información recopilada en mediante la encuesta de movilidad.

4.7.7.1 Información de las Personas

Los resultados presentados son estimados a partir de las 952 encuestas aplicadas y se puede concluir lo siguiente:

- Del total de los individuos encuestados, 42.8% son hombres y el 57.2% son mujeres.
- En cuanto al ingreso percibido, el 50% declaró que su ingreso es menor a los 5,000 pesos mensuales; 25% entre 5 y 10,000 pesos mensuales; 8% con sueldo mayor a los 10,000 pesos mensuales y 17% declararon no tener ingreso. Tales personas que declararon no tener ingreso corresponden a estudiante, amas de casa o desempleados.

Es importante en esta etapa comparar los resultados obtenidos en la encuesta de preferencia declarada con aquellos obtenidos de la encuesta de movilidad. Este análisis es importante para poder establecer si la muestra obtenida es representativa de la población y si no fuera así, estimar pesos para utilizarse en la estimación del modelo de elección discreta.

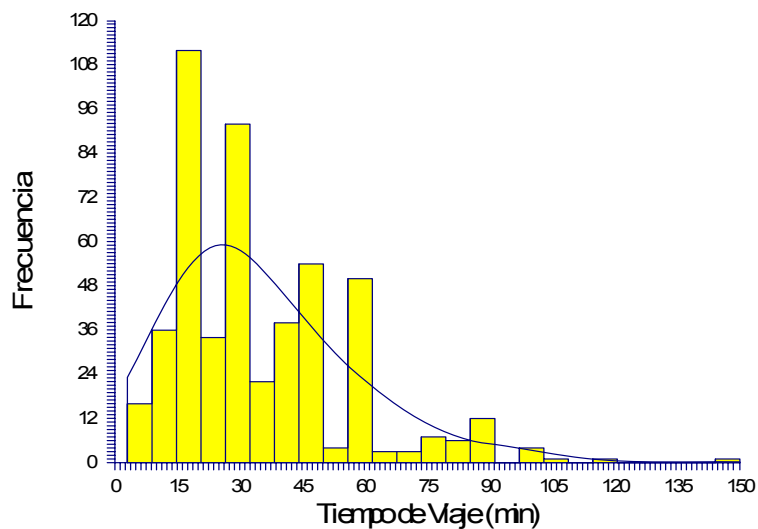
En esta etapa el dato relevante es el ingreso de los individuos. Es importante recalcar que en la encuesta de movilidad se indagó el ingreso del hogar y no de la persona encuestada. De acuerdo a la encuesta de movilidad, 43% de los hogares tiene un ingreso menor a los 5,000 pesos mensuales, 39% obtienen entre 5 y 10,000 pesos y 18% tienen un ingreso mayor a los 10,000 pesos. Comparando estos resultados con los presentados anteriormente del estudio de preferencia declarada, podemos observar que el porcentaje de personas con ingresos menores a 5,000 pesos es similar, sin embargo en el rango de entre 5 y 10,000 pesos existe una diferencia importante. Por tal razón, se emplean pesos por ingreso a las respuestas del experimento de preferencia para tomar

en cuenta la sobre-representación de ciertos grupos de la población y compensar a aquéllos que no están debidamente representados.

4.7.7.2 Información de los Viajes

- En cuanto a la accesibilidad a vehículos particulares, 52% declararon sí tener acceso a un vehículo particular para realizar su viaje. Esto no implica que hayan utilizado su vehículo para realizar su viaje.
- Analizando esta misma variable, se cruzó tal respuesta con el ingreso del encuestado lo cual arrojó resultados esperados. Para encuestados con ingresos menores a los 5,000 pesos mensuales, 61% declararon no tener acceso a un vehículo particular; de los encuestados con ingreso entre 5 y 10,000 pesos, 30% declararon no tener acceso a un vehículo y un 18% para ingresos entre 10 y 20,000 pesos mensuales. Todos los individuos que declararon tener sueldo mayor a los 20,000 pesos siempre tienen acceso a un vehículo.
- En cuanto al motivo de viaje, 39% de los encuestados declararon realizar su viaje por trabajo, 22% por estudios, 14% por compras y el restante en otros motivos.
- Los encuestados declararon que 41% de ellos realizaron su viaje en auto particular, 44% en transporte público, 12% caminando y la fracción restante en otros.
- En cuanto a los usuarios de transporte particular, declararon que el promedio pagado por estacionamiento es de 21 pesos, teniendo un rango de cero a 100 pesos y siendo 12 pesos la cantidad de costo por estacionamiento más contestada.
- En cuanto a la duración del viaje realizado, el promedio de la duración de viajes es de 35 minutos, con una desviación estándar de 21 minutos. De los entrevistados que declararon caminar, su tiempo de viaje promedio de 10.3 minutos. Los que viajaron en automóvil declararon que su tiempo de viaje promedio fue de 15 minutos. Los usuarios de transporte público declararon un tiempo promedio similar, 16 minutos. La figura siguiente presenta la distribución del tiempo de viaje declarado por los encuestados.

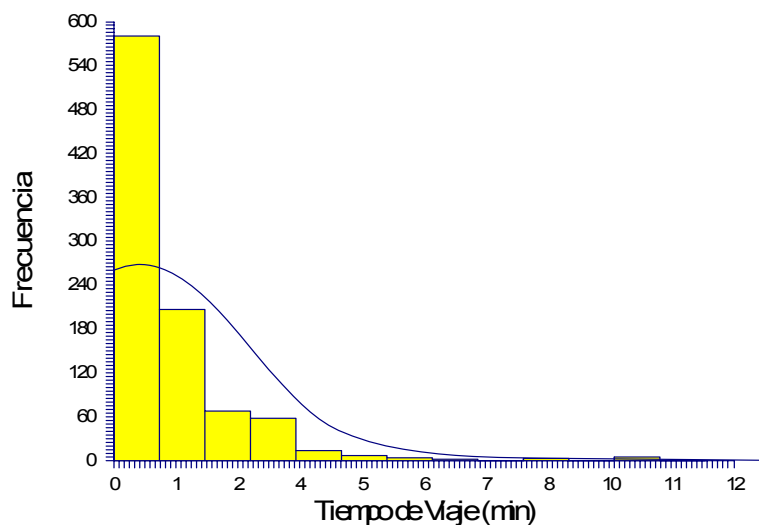
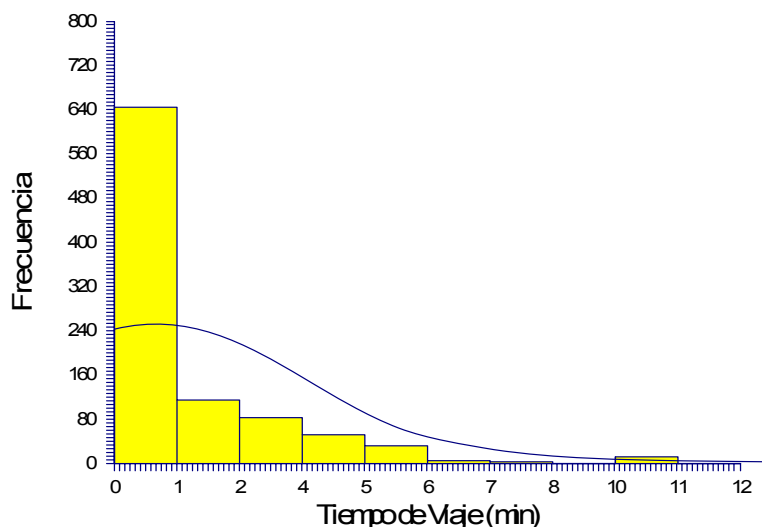
Figura 4.47 Distribución de Tiempos de Viaje



Fuente: Elaboración propia

- De los usuarios de transporte, 86% declararon no haber hecho un trasbordo para completar su viaje, mientras 14% declararon haber hecho al menos un trasbordo.
- Así mismo, los usuarios de transporte público declararon en promedio caminar 1.3 cuadras de su origen a la parada de transporte. Las figuras siguientes presentan la distribución de caminata del origen a la parada de transporte y de la parada de transporte al destino.

Figura 4.48 Distribución de Cuadras de Caminata



Fuente: Elaboración propia

En el caso de los atributos de viaje, también se observa una sobre-representación de los usuarios que utilizan el transporte ya que en la muestra de la encuesta de movilidad se observó que un 14% de los encuestados utiliza el transporte público contra un 44% observado en la encuesta de preferencia declarada. Tal diferencia puede ser causado a dos cosas principalmente: a la ubicación de los puntos de encuesta y la poca disponibilidad de los usuarios de transporte privado a contestar la encuesta. Sin embargo, tal sesgo es después tratado al momento de utilizar tal información en la estimación del modelo mediante pesos específicos por modo y como fue mencionado anteriormente, por ingreso.

De la misma forma, se observa que los tiempos de viaje promedio varían en cuanto a la muestra obtenida mediante la encuesta de movilidad aunque haciendo un *test* estadístico, se prueba que las diferencias no son significativas a un nivel de confianza del 95%. Es decir, que las diferencias son resultado de la variación misma del tiempo de viaje y del tamaño de la muestra que es menor a la encuesta de movilidad.

Finalmente, en cuanto a la pregunta de opinión que se realizó a los encuestados que no utilizaron el transporte público, la respuesta más común fue que no utilizan el transporte debido al tiempo de viaje o espera con respecto a otros modos de transporte. En segundo lugar, citan que los autobuses son incómodos y la tercera razón más importante para no utilizar el transporte público es que no hay ruta que lo pueda llevar de su origen a su destino.

4.7.8 Estimación del modelo de elección modal

Una vez realizado el análisis estadístico, se llevó a cabo la estimación del modelo de elección modal a partir de la base de datos de preferencia declarada. La metodología utilizada consta de los siguientes pasos:

- Análisis exploratorio de la base de datos
- Desarrollo de un modelo inicial
- Evaluación del modelo inicial y propuesta de modelos adicionales
- Definición del modelo más apropiado
- Desarrollar inferencias acerca del modelo

Esta metodología consiste entonces de un análisis exploratorio de la base de datos que permiten el desarrollo del primer modelo que será evaluado. El análisis exploratorio fue descrito en la sección anterior.

El modelo de elección modal más utilizado es el modelo logit. Los modelos logit son modelos de elección discreta que intentan explicar el comportamiento de individuos al hacer una decisión entre un número finito de alternativas, en nuestro caso son alternativas de transporte. El objetivo del modelo logit es estimar la probabilidad de escoger una alternativa específica y su fórmula es la siguiente:

$$P(i) = \frac{e^{U_i}}{\sum_j e^{U_j}}$$

donde:

$P(i)$ es la probabilidad de escoger la alternativa i

U_i es la utilidad de la alternativa i

La función de utilidad U_i representa el valor subjetivo de cada alternativa en comparación con las demás opciones y es expresada normalmente por una función lineal de la siguiente forma:

$$U_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \beta_3 \cdot X_3 + \dots + \beta_n \cdot X_n$$

donde X_i son las variables que representan los atributos de cada alternativa y βx representan los coeficientes del efecto de cada variable en la utilidad. Los coeficientes de la función de utilidad son estimados utilizando métodos de máxima verosimilitud que son implementados en software diverso tal como Biogeme; el cual fue utilizado en este estudio.

Durante el desarrollo del primer modelo, se incluyen todas las variables existentes en la base de datos para así poder determinar qué variables son significativamente estadísticas y por lo tanto ayudan a explicar la variación de la decisión de los encuestados sobre alternativas de transporte. Se decidió asumir significativa una variable cuando el nivel de confianza es igual o mayor al 90%, el cual también fue asumido al estimar la muestra.

En la estimación del primer modelo, se identificaron las siguientes variables no significativas las cuales fueron eliminadas de posteriores modelos estimados:

- Género
- Accesibilidad a vehículo particular
- Tiempo dentro del vehículo
- Tiempo de caminata
- Restricción al estacionamiento
- Número de transbordos en transporte público
- Certeza de viajar siempre sentado en transporte

De tal forma, las variables incluidas en el modelo debido a que sí ayudan a explicar la variación en la preferencia de los usuarios del sistema de transporte en Chihuahua son las siguientes:

- Ingreso
- Motivo de viaje
- Tiempo total de viaje
- Costo de estacionamiento
- Tarifa del transporte
- Provisión de aire acondicionado en unidades de transporte
- Provisión de sillas acolchonadas en unidades de transporte

El modelo de selección modal es estimado para formar parte del modelo de planeación desarrollado en el presente estudio. De tal forma, el modelo de elección debe atender los segmentos de demanda empleados en tal modelo. Esta segmentación se basa en ingresos y motivo de viaje. En cuanto a ingresos se cuentan con tres niveles: bajo, medio y alto. En cuanto al motivo de viaje, se cuenta con el mismo número de grupos correspondientes al motivo trabajo, estudios y otros.

El segundo modelo estimado fue realizado para tomar en cuenta tal segmentación, sin embargo, debido a la poca muestra recopilada en los segmentos: alto y medio de ingresos, se decidió agrupar ambos segmentos en uno solo. Así, el modelo de elección modal final cuenta con 6 segmentos derivados de 2 niveles de ingreso y 3 motivos de viaje. En realidad aunque se describen aquí dos modelos, el proceso de la obtención del mejor modelo es un proceso de prueba y error que consiste en la estimación de múltiples modelos, en este caso se estimaron más de 50 modelos.

4.7.8.1 Resultados

La selección del modelo de selección modal se basa en qué tanto se acercan los coeficientes se acercan a lo esperado en cuanto a sus signos y magnitudes relativas, así como su nivel de significancia. Al final, se estimaron funciones de utilidad para las tres alternativas evaluadas. Las funciones de utilidad tienen la siguiente forma:

$$U_{caminata} = Cte + \beta_1 * \text{Tiempo total de viaje}$$

$$U_{bus} = Cte + \beta_1 * \text{Tiempo total de viaje} + \beta_2 * (AC=1) + \beta_3 * (\text{Sillas Acolchonadas}=1) + \Sigma \beta_4 * \text{Motivo} * \text{Ingreso} * \text{Tarifa de Transporte}$$

$$U_{auto} = Cte + \beta_1 * \text{Tiempo total de viaje} + \Sigma \beta_4 * \text{Motivo} * \text{Ingreso} * \text{Costo de Estacionamiento}$$

La Tabla 4.14 presenta la estimación de los coeficientes para el modelo multinomial final. La tabla también presenta la estadístico t que indica la significancia de los coeficientes. A partir de la estimación de los coeficientes también se puede estimar el

valor subjetivo del tiempo. Esto se puede estimar dividiendo el coeficiente de tiempo de viaje entre el coeficiente de costo; el resultado obtenido tiene unidades de pesos por minuto. La Tabla 1.2 presenta los valores del tiempo obtenidos para los distintos segmentos de demanda en base a ingreso y motivo de viaje.

Para el modelo final el número de parámetros es 17. El número de observaciones utilizadas son 6,481. El estadístico Rho^2 es 0.2162.

Tabla 4.21 Resultados de Estimación de Modelo

Parámetros de la Función de Utilidad		
Variable	Coefficiente	t-test
Constante Auto	1.4050	11.55
Constante Tpúblico	1.1280	11.16
Constante Caminata	0.0000	
Tiempo Total de Viaje	-0.0344	-10.39
Aire Acondicionado	0.2821	4.67
Sillas Acolchonadas	0.2819	4.23
Ingreso Bajo * Motivo Trabajo * Costo Estacionamiento	-0.0332	-6.62
Ingreso Bajo * Motivo Estudio * Costo Estacionamiento	-0.0449	-12.09
Ingreso Bajo * Motivo Otros * Costo Estacionamiento	-0.0271	-8.65
Ingreso Medio-Alto * Motivo Trabajo * Costo Estacionamiento	-0.0214	-1.50
Ingreso Medio-Alto * Motivo Estudio * Costo Estacionamiento	-0.0409	-4.40
Ingreso Medio-Alto * Motivo Otros * Costo Estacionamiento	-0.0182	-1.31
Ingreso Bajo * Motivo Trabajo * Tarifa Transporte	-0.0926	-6.74
Ingreso Bajo * Motivo Estudio * Tarifa Transporte	-0.1490	-11.04
Ingreso Bajo * Motivo Otros * Tarifa Transporte	-0.1396	-11.30
Ingreso Medio-Alto * Motivo Trabajo * Tarifa Transporte	-0.0902	-1.31
Ingreso Medio-Alto * Motivo Estudio * Tarifa Transporte	-0.1450	-5.48
Ingreso Medio-Alto * Motivo Otros * Tarifa Transporte	-0.1271	-4.21

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.22 Valores Subjetivos del Tiempo

Automovilistas Ingreso Bajo		Valor del Tiempo		
Motivo de Viaje		\$/min	\$/hr	\$/mes
Trabajo		\$1.04	\$62.16	\$10,940
Estudios		\$0.77	\$46.02	\$8,099
Otros		\$1.27	\$76.20	\$13,412

Automovilistas Ingreso Medio Alto		Valor del Tiempo		
Motivo de Viaje		\$/min	\$/hr	\$/mes
Trabajo		\$1.61	\$96.56	\$16,995
Estudios		\$0.84	\$50.54	\$8,894
Otros		\$1.89	\$113.58	\$19,990

Transporte Público Ingreso Bajo		Valor del Tiempo		
Motivo de Viaje		\$/min	\$/hr	\$/mes
Trabajo		\$0.37	\$22.31	\$3,927
Estudios		\$0.23	\$13.87	\$2,441
Otros		\$0.25	\$14.80	\$2,606

Transporte Público Ingreso Medio Alto		Valor del Tiempo		
Motivo de Viaje		\$/min	\$/hr	\$/mes
Trabajo		\$0.38	\$22.90	\$4,030
Estudios		\$0.24	\$14.25	\$2,507
Otros		\$0.27	\$16.25	\$2,860

Fuente: Elaboración propia

4.7.8.2 Inferencias sobre los coeficientes

A partir de la estimación de los coeficientes de la función de utilidad, es posible realizar algunas inferencias de los mismos que nos permiten entender el comportamiento de los encuestados en cuanto a su decisión de utilizar cierto medio de transporte.

Existen dos tipos de coeficientes, los que son específicos para una alternativa y los que son generales, es decir iguales para todas las alternativas. El tiempo de viaje es un caso general, mientras el costo de estacionamiento o el tener aire acondicionado en las unidades de transporte es específico para cierta alternativa.

En primer lugar podemos analizar las constantes de cada modo. La constante de caminata se fijó en 0.0. Esto es necesario para una estimación adecuada del modelo. Las constantes del modo auto y transporte público en cambio tienen un valor de 1.40 y 1.12 respectivamente. Comparando relativamente las tres constantes, podemos inferir que si todo lo demás permanece constante, la alternativa menos atractiva es caminar, después el transporte público y finalmente el auto particular. Tal conclusión es esperada ya que el auto ofrece cierto confort y nivel de servicio que ni el transporte público ni la caminata ofrecen. Las constantes son coeficientes específicos.

La variable tiempo total de viaje es general y tiene un valor de -0.0344. Se puede inferir entonces, por su signo negativo, que la conveniencia de utilizar cierto modo de

transporte disminuye a medida que el tiempo de viaje del mismo incrementa. Esta inferencia es correcta y esperada.

Existen dos variables dicótomas o binarias que están relacionadas con el transporte público: la variable que indica si hay aire acondicionado y aquella que indica si existen sillas acolchonadas o no en la unidad de transporte. Estas variables solo pueden tomar los valores 0 y 1; el valor 1 indicaría que sí existe aire acondicionado o sillas acolchonadas en la unidad, 0 si no existe. Los coeficientes son positivos y con valor 0.2821 y 0.2819. Estadísticamente el efecto de estas amenidades es el mismo e indica, por su signo positivo, que al agregar aire acondicionado o sillas acolchonadas hará más atractivo el transporte público y por lo tanto existe la probabilidad de utilizarlo más.

Posteriormente, se presentan doce coeficientes que están relacionados con el costo de la alternativa, el motivo de viaje y el nivel de ingreso del individuo realizando tal viaje. Como se mencionó anteriormente existen seis segmentos clasificados en este modelo por ingreso (bajo y medio-alto) y motivo de viaje (trabajo, estudios y otros). Se tienen doce coeficientes debido a que los coeficientes son específicos para el automóvil y para el transporte público. La alternativa de caminata no tiene coeficientes ya que la alternativa no tiene un costo monetario como el costo de estacionamiento para el modo auto o la tarifa para el transporte público. Para las inferencias relacionadas con el costo de viaje también nos referiremos la Tabla 4.15 relacionada con el tiempo de viaje.

Se puede observar que todos los coeficientes de costo tienen un signo negativo; este comportamiento es similar al del tiempo de viaje, donde a mayor costo la alternativa es menos atractiva.

En primera instancia se observa que el comportamiento es similar entre todos los segmentos donde el coeficiente de costo es más sensible para el motivo estudios que para trabajo y otros. También se puede observar que el segmento de ingreso bajo son más sensibles hacia el costo que los de ingreso mayor. Esto puede también identificarse con el valor del tiempo de cada estrato. También se puede concluir que en general, los usuarios de transporte público tienen una sensibilidad mayor al costo del viaje que los usuarios de automóvil.

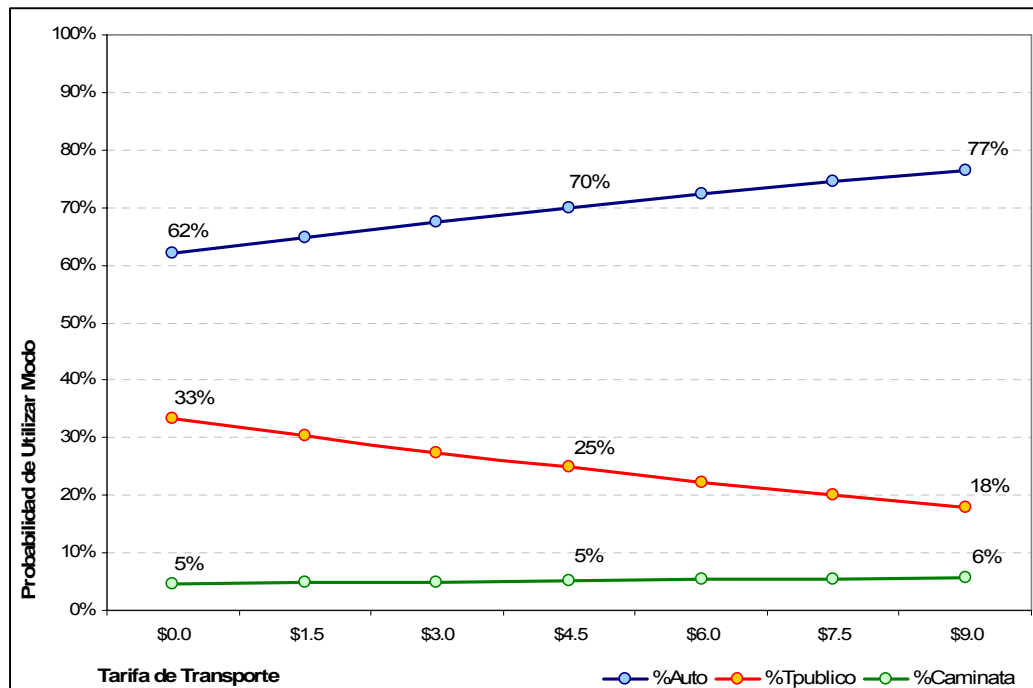
4.7.8.3 *Análisis de Sensibilidad*

Finalmente, como parte de la estimación del modelo es necesario explorar la sensibilidad de los coeficientes del mismo. Esto se logra a partir de la aplicación del mismo con valores típicos de las distintas variables incluidas en el modelo. Los análisis fueron realizados en una hoja de cálculo de los cuales se presentan los siguientes resultados.

En las siguientes dos figuras se hace un análisis de sensibilidad de las variables de costo de viaje y nivel socioeconómico. En primer lugar, se puede observar en la Figura 4.79 que a medida que la tarifa de transporte incrementa la probabilidad de utilizar el automóvil incrementa y la de transporte público disminuye. La probabilidad de caminar se mantiene relativamente constante. Los análisis suponen un individuo de ingreso bajo

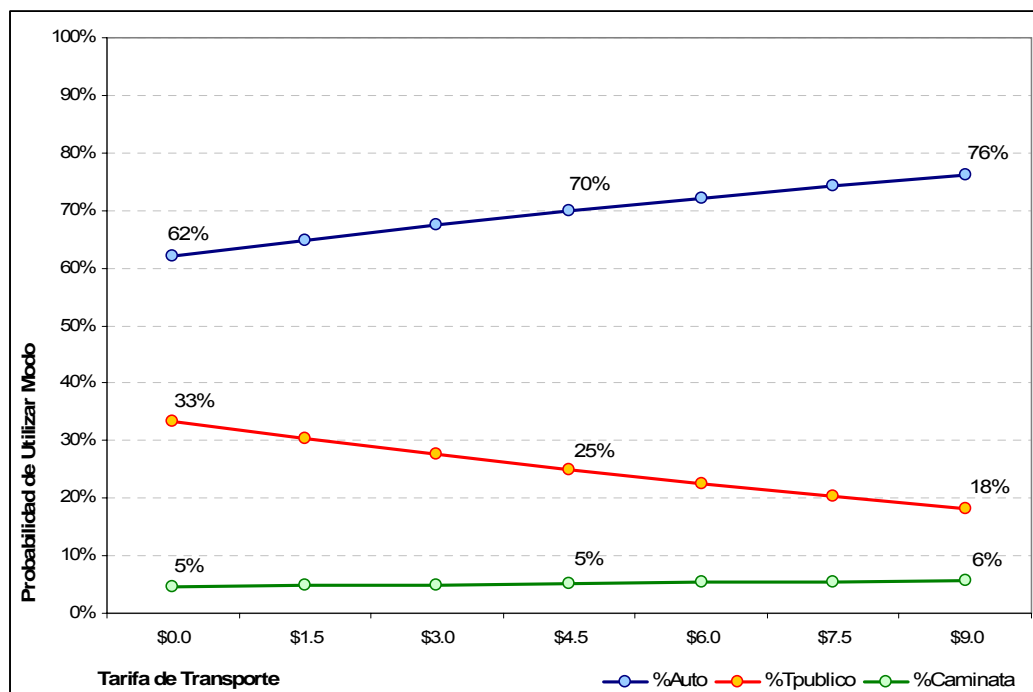
viajando por trabajo y además que todas las demás variables permanecen constantes. Los análisis asumen un tiempo de viaje en auto de 15 minutos, 25 minutos en autobús y 50 minutos caminando; asume también que las unidades de transporte público no cuentan con aire acondicionado o sillas acolchonadas.

Figura 4.49 Sensibilidad hacia tarifa de usuarios ingreso bajo motivo trabajo



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.50 Sensibilidad hacia tarifa de usuarios ingreso medio-alto motivo trabajo



Fuente: Elaboración propia

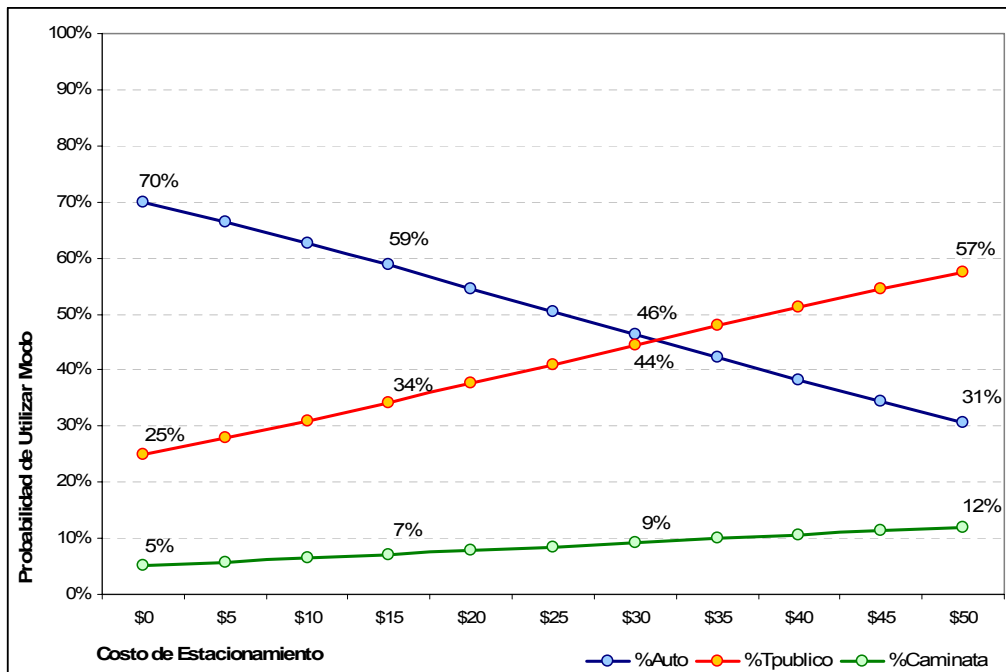
En cambio, en la Figura 4.80 se grafica el mismo análisis pero para un individuo con ingreso medio o alto. El resultado es similar, lo cual implica que la sensibilidad hacia la tarifa es similar para ambos estratos. Esto se comprueba al observar que los coeficientes para ambos estratos son casi iguales -0.0926 y -0.0902 respectivamente.

El segundo análisis consistió en estudiar la sensibilidad de la selección modal ante la variación del costo de estacionamiento manteniendo fijas las demás variables, incluyendo la tarifa de transporte que se mantiene en 4.50 pesos. En este caso se puede apreciar una sensibilidad más claramente debido a que los valores de costo de estacionamiento analizados son mayores que la tarifa de transporte. El comportamiento es similar; a medida que el costo de estacionamiento incrementa, la probabilidad de utilizar el automóvil disminuye mientras la de utilizar autobús o caminar incrementa. La probabilidad de utilizar transporte público incrementa con mayor fuerza que la de caminar. Inclusive, al llegar a una tarifa de 33 pesos, la cantidad de individuos que utilizan transporte público comienza a ser mayor que la del automóvil.

En la gráfica posterior, se realiza el mismo análisis pero para individuos con ingreso medio o alto. Nótese que la sensibilidad al costo de estacionamiento es menor, ya que no es sino hasta casi los 50 pesos cuando la probabilidad de elegir el autobús es mayor que la probabilidad de elegir el automóvil. También nótese como en este caso el modo caminata incrementa en menor medida que el escenario anterior. Se puede concluir que

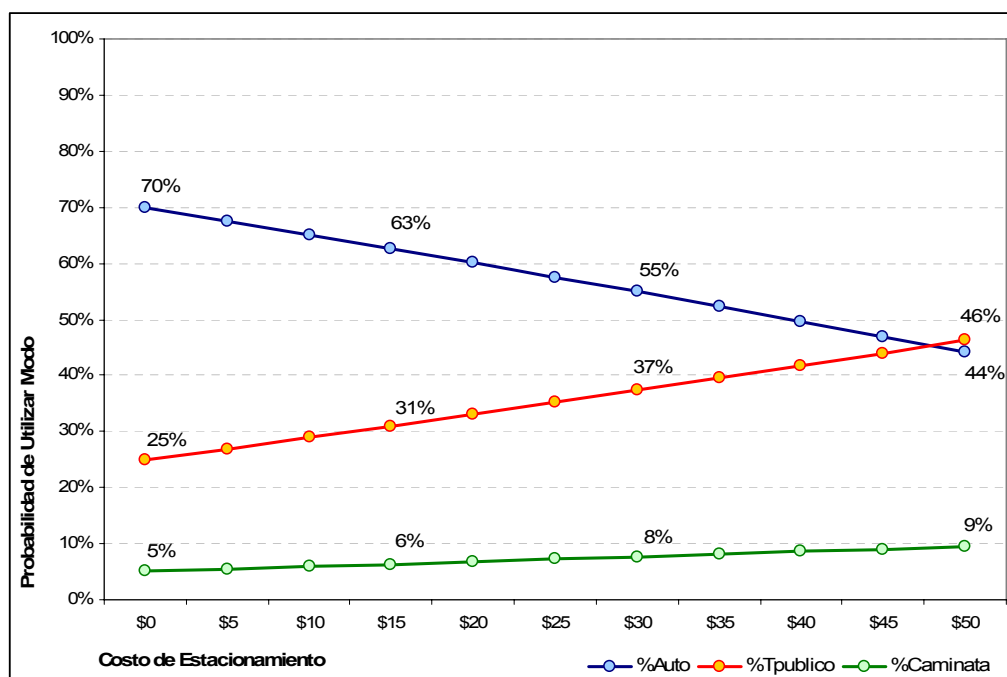
el modelo se comporta adecuadamente ya que al analizar individuos con mayor ingreso, la sensibilidad al costo de estacionamiento es menor.

Figura 4.51 Sensibilidad hacia estacionamiento de usuarios ingreso bajo motivo trabajo



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.52 Sensibilidad hacia costo de estacionamiento de usuarios ingreso medio-alto motivo trabajo



Fuente: Elaboración propia

Un análisis similar se realizó para las dos variables binarias relacionadas con el transporte público: unidades con aire acondicionado o con sillas acolchonadas. Nuevamente se asumió un viaje en automóvil de 15 minutos, en autobús de 25 minutos y en caminata de 50 minutos. También se asume que la tarifa de transporte es 4.50 pesos y no se cobra estacionamiento en el destino.

En primera instancia se asume que el individuo viaja por trabajo y que obtiene un ingreso bajo. Suponiendo que la unidad no ofrece aire acondicionado ni sillas acolchonadas, la probabilidad de utilizar el auto sería de 70%, de utilizar el autobús de 25% y 5% de caminar. En cambio, al ofrecer aire acondicionado, la probabilidad de utilizar el auto baja a 65%, la de utilizar el autobús sube a 30% y la de caminar permanece en 5%; es decir, al ofrecer aire acondicionado en unidades de transporte se provocaría un cambio de modo del auto al autobús y en menor medida de caminata a autobús. Tomando en cuenta que el coeficiente de sillas acolchonadas es similar al de aire acondicionado, los resultados son casi los mismos al ofrecer sillas acolchonadas más no aire acondicionado, automóvil 65%, autobús 30% y caminata 5%. Finalmente, se analiza el caso en que se ofrezca tanto aire acondicionado como sillas acolchonadas, entonces la probabilidad de utilizar el automóvil se reduce a 59%, la de utilizar el transporte público sube a 37% y la de caminar baja a 4%. Se realizaron análisis similares para un individuo con ingreso medio o alto con motivo trabajo. Los resultados de tales análisis se presentan resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 4.23 Análisis de Sensibilidad

Escenario	Ingreso Bajo – Motivo Trabajo	Ingreso Medio/Alto – Motivo Trabajo
Sin AC, sin SA	Auto: 70% Bus:25% Caminar: 5%	Auto: 70% Bus:25% Caminar: 5%
Con AC, Sin SA	Auto: 65% Bus:30% Caminar: 5%	Auto: 65% Bus:31% Caminar: 4%
Sin AC, Con CA	Auto: 56% Bus:40% Caminar: 5%	Auto: 65% Bus:31% Caminar: 4%
Con AC, Con SA	Auto: 59% Bus:37% Caminar: 4%	Auto: 59% Bus:37% Caminar: 4%

Nota: AC: Aire Acondicionado, SA: Sillas Acolchonadas

Fuente: Elaboración propia

4.8 Proyección de la demanda tendencial en horizontes futuros

En este punto, al incorporar para el desarrollo de los modelos de simulación a los modelos de generación y atracción de viajes y a los modelos de distribución de viajes, descritos anteriormente, se concreta lo necesario para obtener en cada año matrices consistentes en cuanto al patrón de viajes que se espera para cada tipo de transporte, de manera independiente.

Sin embargo teniendo en cuenta la dinámica de la división modal entre el transporte público y privado, que se ha observado durante los últimos años para los viajes que se dan en la ciudad, es necesario considerar este aspecto como parte de la evolución futura de los pronósticos. De acuerdo con lo anterior se define dentro de un escenario factible, mantener la tendencia de participación modal en la movilidad motorizada para tratar esta etapa de pronóstico.

Cabe resaltar que para la fase siguiente del estudio que tiene que ver con la evaluación de alternativas, se utilizarán los modelos de división modal estructurados con base en los resultados obtenidos de la aplicación de las encuestas de preferencia declarada, que se realizaron como parte del presente estudio y descritos en el numeral anterior.

Es importante mencionar que los viajes que se realizan en modos diferentes al privado y público urbano, como lo son el transporte: privado de personal, escolar, en motocicletas, en bicicletas, a pie, etc., fueron excluidos del análisis mencionado.

Con la explicación anterior, en seguida se muestran los resultados del modelo de demanda para el año base y las proyecciones para el corto, mediano y largo plazo (2011, 2016 y 2026 respectivamente) tanto para el transporte privado como el transporte público. Se presentan el número de viajes generados y atraídos entre las zonas de tránsito actuales y futuras, clasificados por motivo de viaje.

4.8.1 Transporte privado

La tendencia al uso del automóvil como medio de transporte en la ciudad de Chihuahua se incrementa año con año, pasando de 577,467 viajes en 2006 a 1,036,333 viajes en el 2026 lo que representa una TCMA de 2.97% en dicho periodo. Es decir, el incremento de viajes en 20 años será cerca de 80% con respecto a lo que se vive actualmente.

Tabla 4.24 Tabla resumen generación – atracción de viajes en transporte privado

Generación - Atracción			Año			
Vehículo	Periodo	Motivo Viaje	2006	2011	2016	2026
Automóvil	Mañana	Trabajo	112,605	134,863	155,237	208,006
		Estudio	118,588	145,540	171,580	215,385
		Otros	98,298	116,771	130,307	156,786
	Tarde	Trabajo	37,063	43,759	49,660	60,628
		Estudio	20,272	24,835	28,905	36,218
		Otros	190,641	234,280	272,872	359,310

Cabe resaltar que aunque el número de viajes se incrementa en los periodos de análisis, las tasas de crecimiento media anual presentan una disminución al pasar de los años, como se puede observar en la tabla siguiente,

Tabla 4.25 Tasa de Crecimiento Medio Anual de viajes en transporte privado

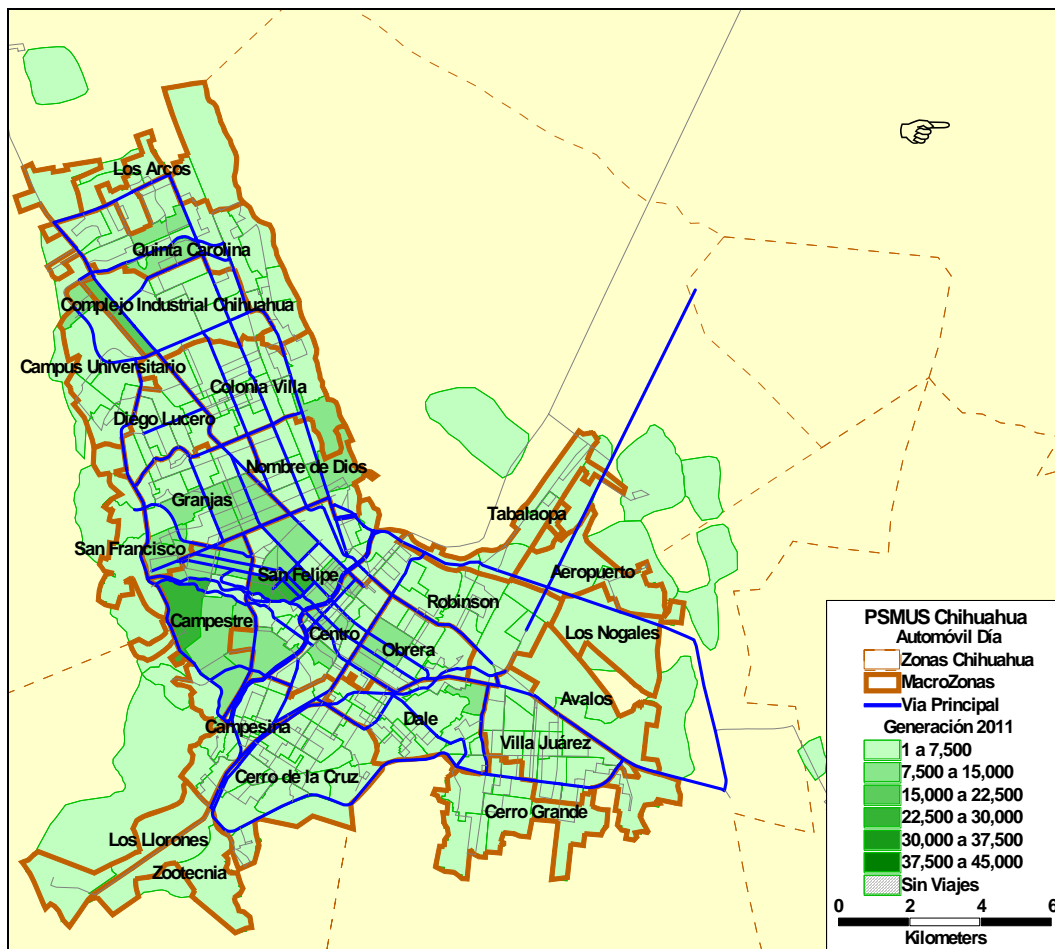
Generación - Atracción - TCMA			Periodo		
Vehículo	Periodo	Motivo Viaje	2006 - 2011	2011 - 2016	2016 - 2026
Automóvil	Mañana	Trabajo	3.67%	2.85%	2.97%
		Estudio	4.18%	3.35%	2.30%
		Otros	3.50%	2.22%	1.87%

	Tarde	Trabajo	3.38%	2.56%	2.02%
		Estudio	4.14%	3.08%	2.28%
		Otros	4.21%	3.10%	2.79%

Fuente tablas: Elaboración propia

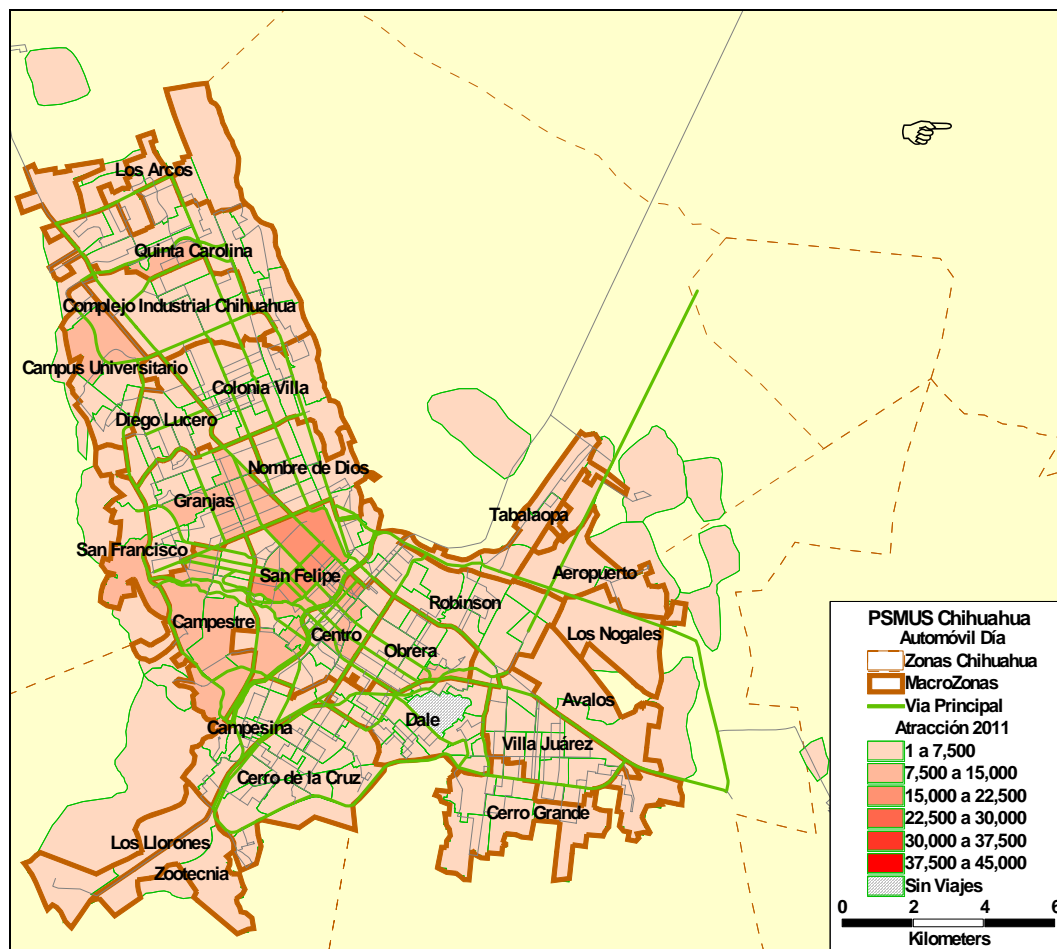
En las figuras siguientes se muestra el movimiento de generación y atracción de viajes en automóvil particular en la ciudad de Chihuahua en el corto, mediano y largo plazo.

Figura 4.53 Viajes generados en automóvil por zona 2011



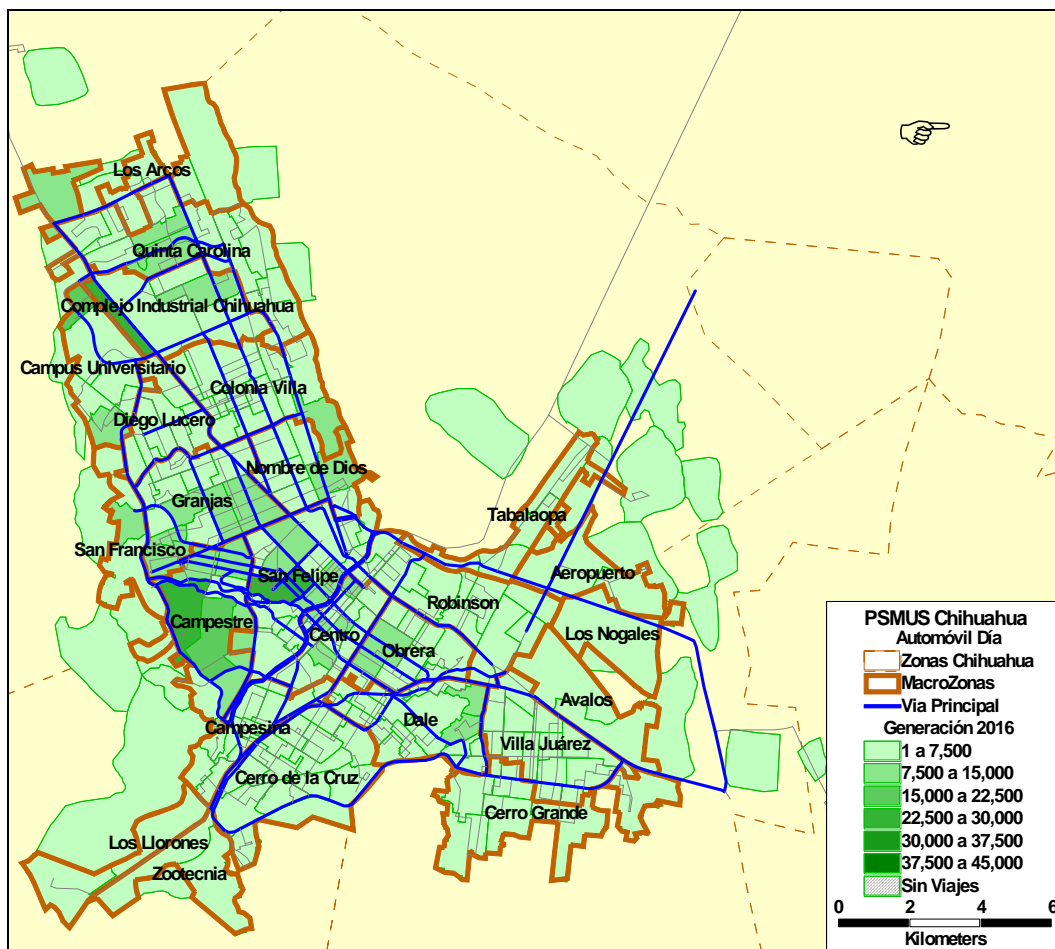
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.54 Viajes atraídos en automóvil por zona 2011



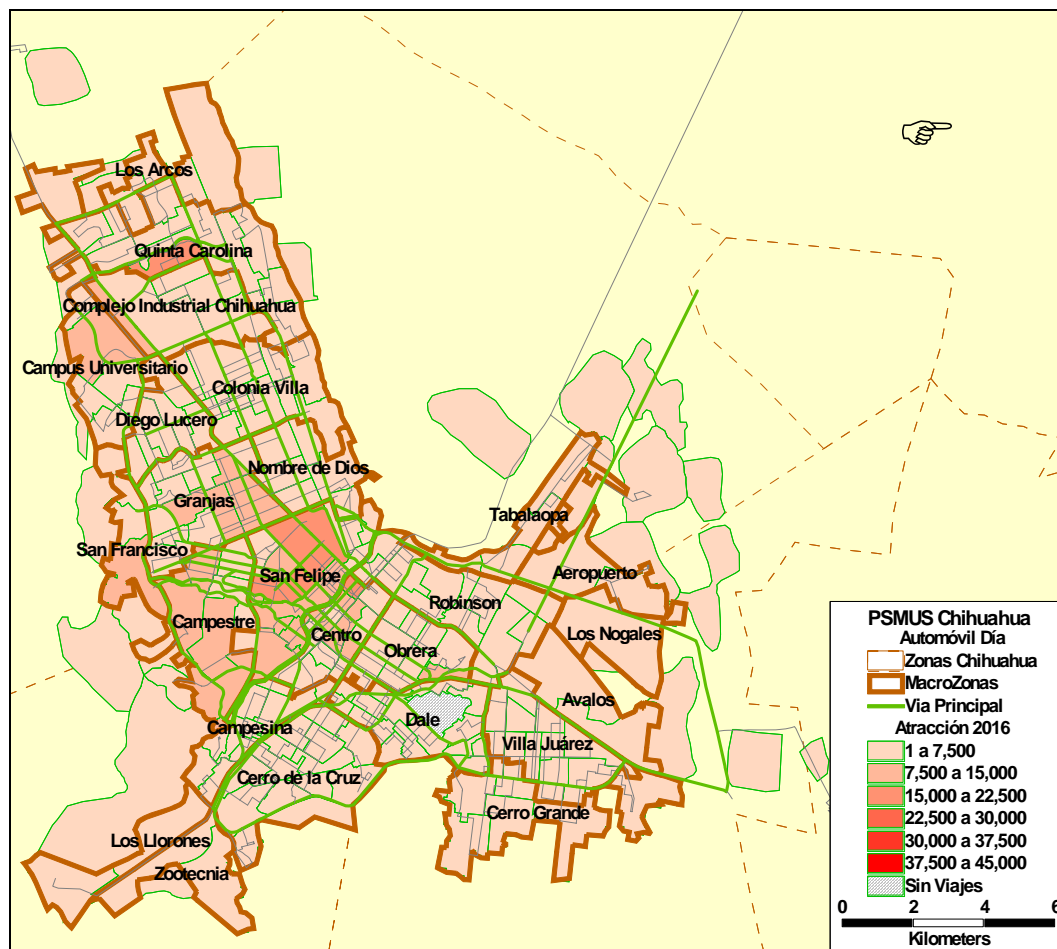
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.55 Viajes generados en automóvil por zona 2016



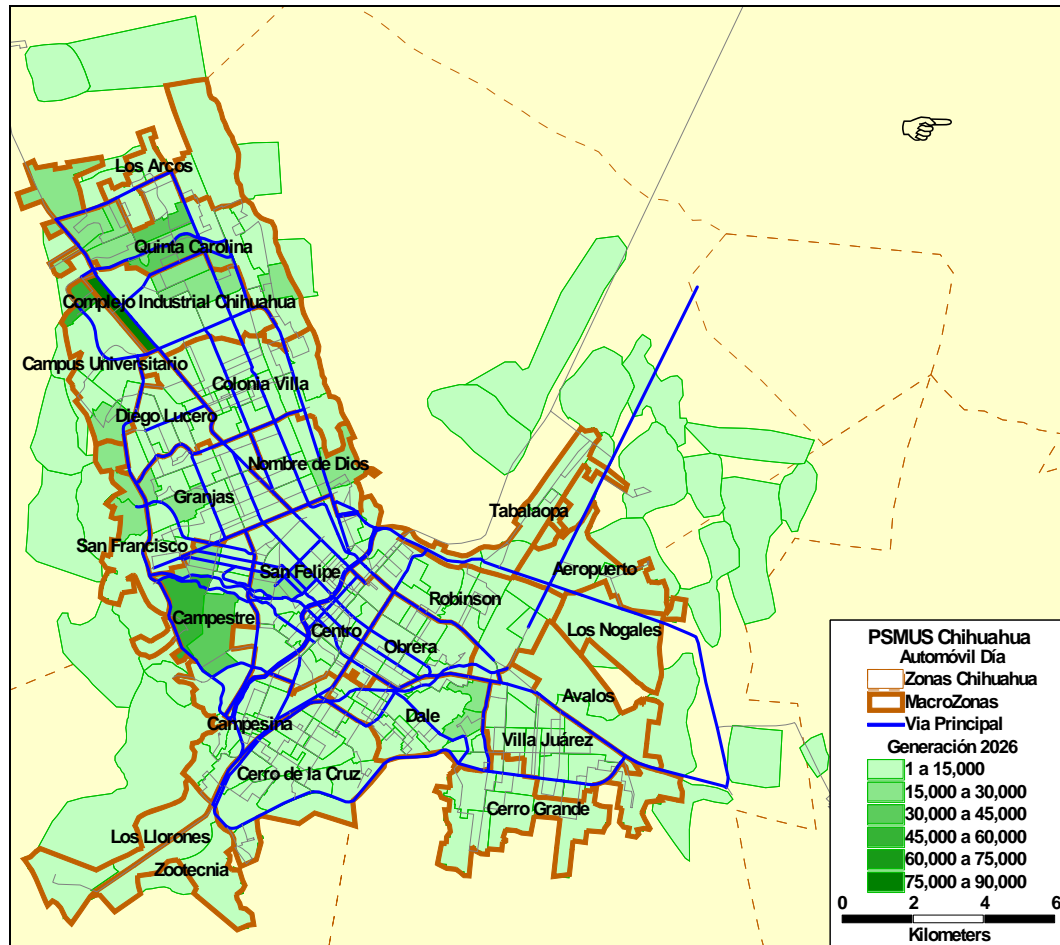
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.56 Viajes atraídos en automóvil por zona 2016



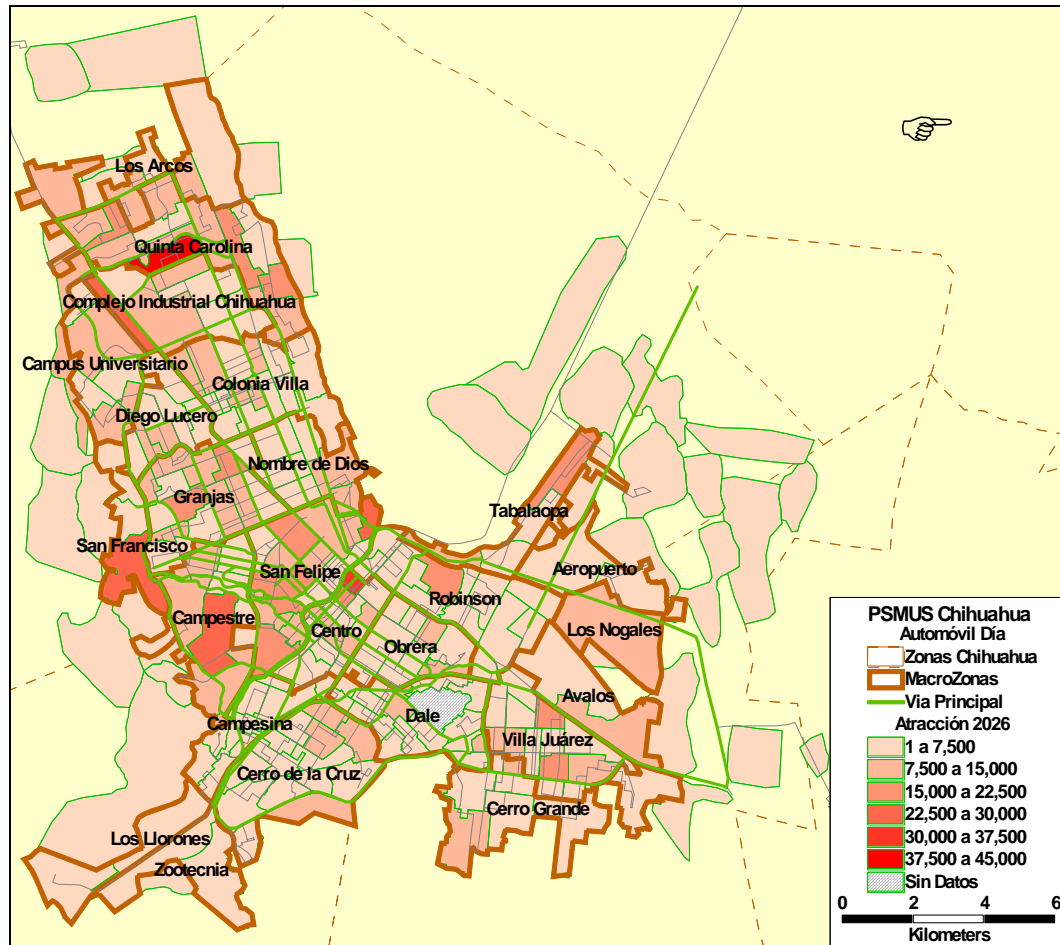
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.57 Viajes generados en automóvil por zona 2026



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.58 Viajes atraídos en automóvil por zona 2026



Fuente: Elaboración propia

4.8.2 Transporte público

Para el transporte público el comportamiento de viajes generados y atraídos en los periodos antes mencionados, es como se muestra en la siguiente tabla.

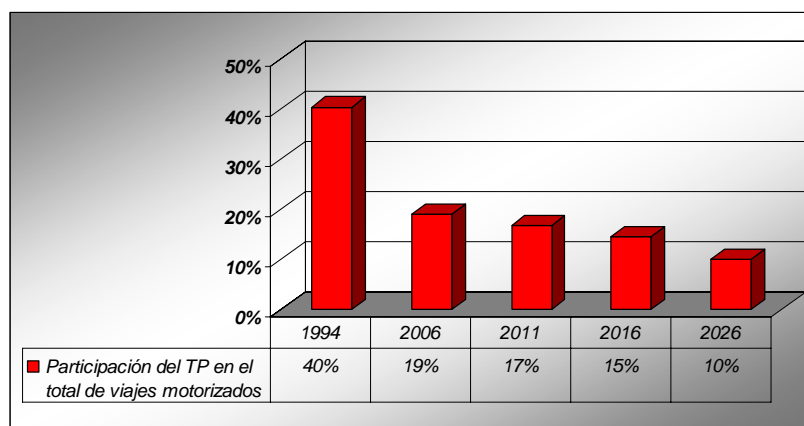
Tabla 4.26 Tabla resumen generación – atracción de viajes en transporte público

Generación - Atracción			Año			
Vehículo	Periodo	Motivo Viaje	2006	2011	2016	2026
Autobús	Mañana	Trabajo	17,964	18,560	18,143	15,367
		Estudio	16,059	17,249	17,175	14,882
		Otros	11,079	11,395	11,026	9,223
	Tarde	Trabajo	2,534	2,713	2,675	2,308
		Estudio	2,370	2,454	2,392	1,966
		Otros	32,544	33,929	32,878	26,760

Fuente: Elaboración propia

El transporte público presenta tasas de crecimiento media anual que evidencian el decremento del uso de dicho medio al pasar de 82,551 viajes en 2006 a 70,506 viajes en 2026. Dicho comportamiento es coherente con el incremento de viajes con automóviles. Además, representa una disminución en la participación de los viajes en transporte público respecto al total de viajes, manteniendo la tendencia que se ha visto en los últimos años y la cual es necesario revertir. La siguiente figura muestra el comportamiento descrito anteriormente.

Figura 4.59 Participación del transporte público respecto al transporte motorizado



Fuente: Elaboración propia

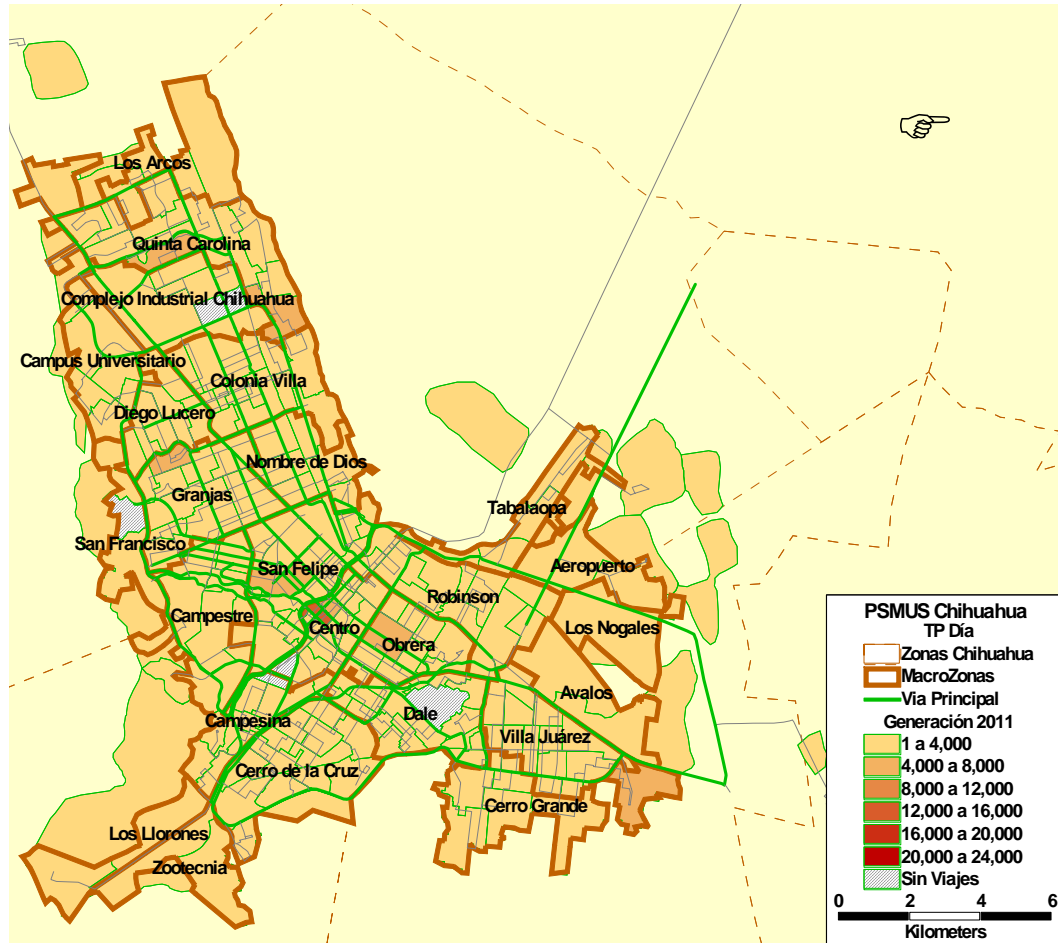
Tabla 4.27 Tasa de Crecimiento Medio Anual de viajes en transporte público

Generación - Atracción - TCMA			Periodo		
Vehículo	Periodo	Motivo Viaje	2006 - 2011	2011 - 2016	2016 - 2026
Autobús	Mañana	Trabajo	0.65%	-0.45%	-1.65%
		Estudio	1.44%	-0.09%	-1.42%
		Otros	0.56%	-0.66%	-1.77%
	Tarde	Trabajo	1.37%	-0.28%	-1.47%
		Estudio	0.70%	-0.51%	-1.94%
		Otros	0.84%	-0.63%	-2.04%

Fuente: Elaboración propia

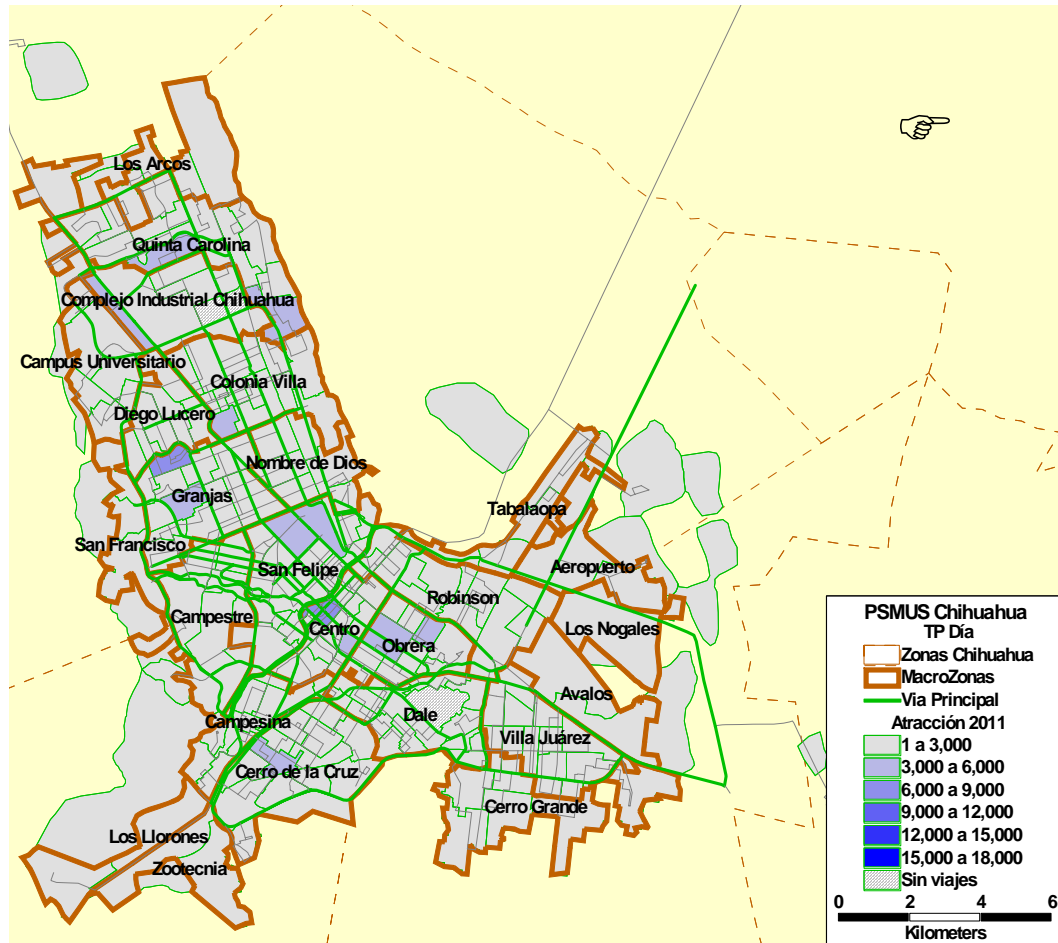
En las figuras siguientes se muestra el comportamiento de generación y atracción de viajes en transporte público en la ciudad de Chihuahua en el corto, mediano y largo plazo.

Figura 4.60 Viajes generados en transporte público por zona 2011



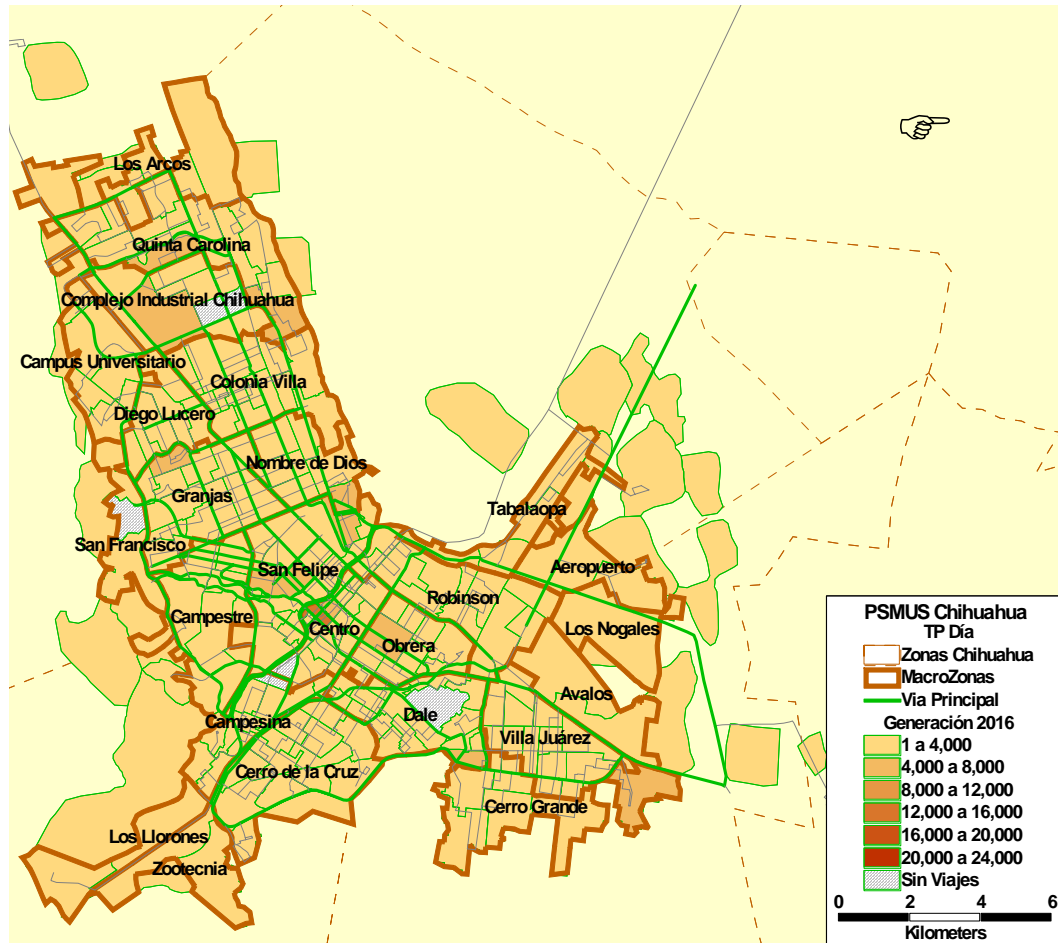
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.61 Viajes atraídos en transporte público por zona 2011



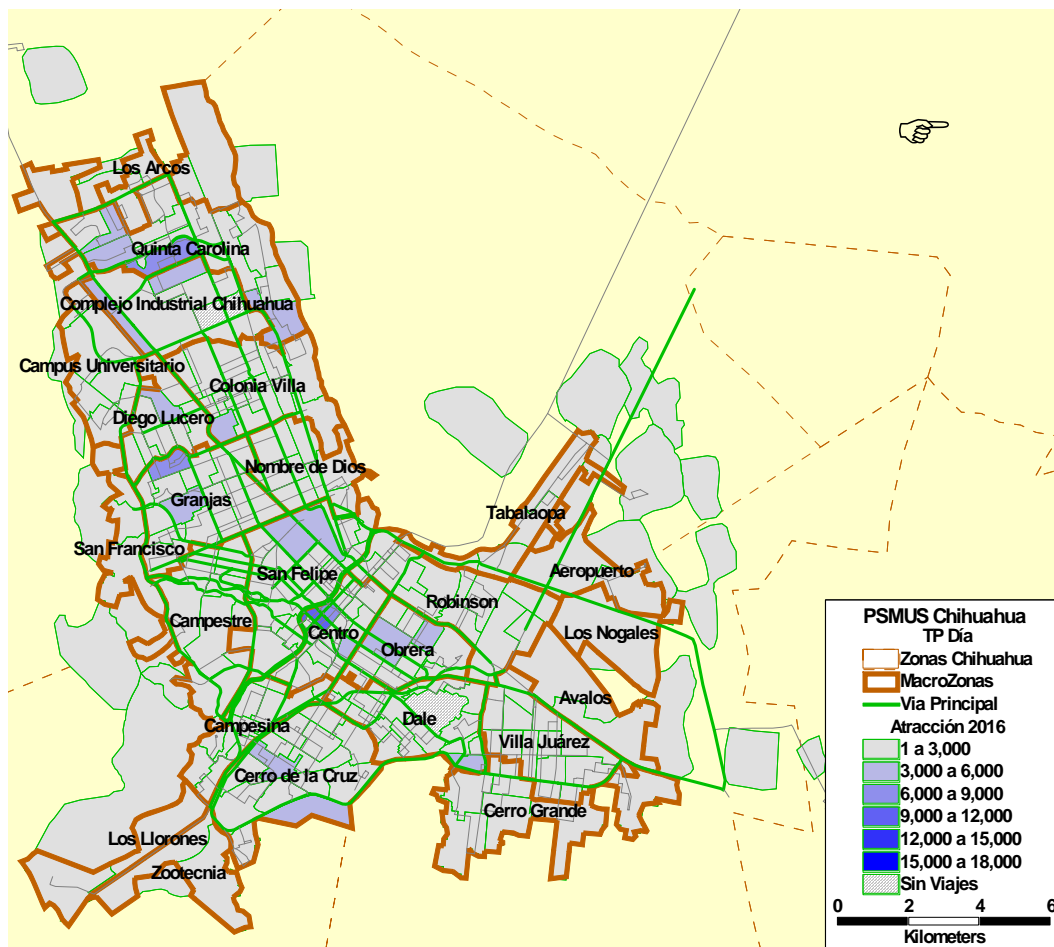
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.62 Viajes generados en transporte público por zona 2016



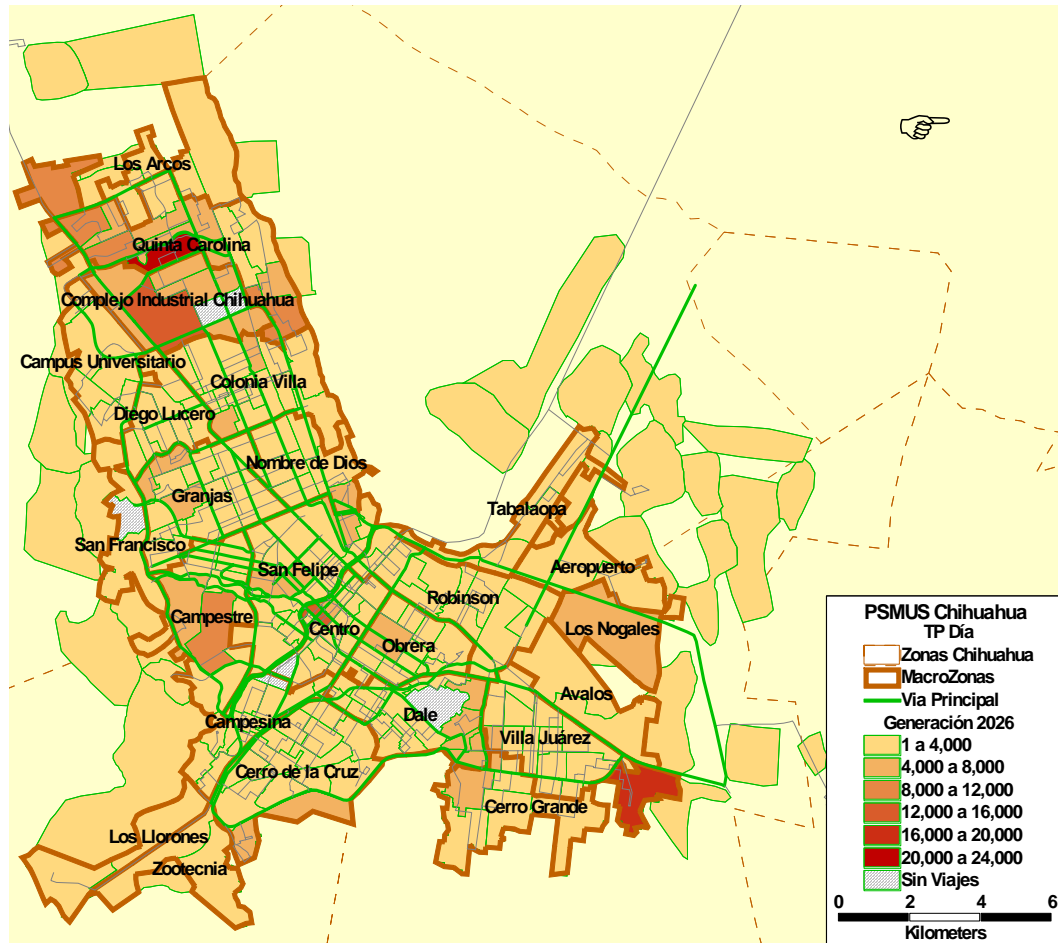
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.63 Viajes atraídos en transporte público por zona 2016



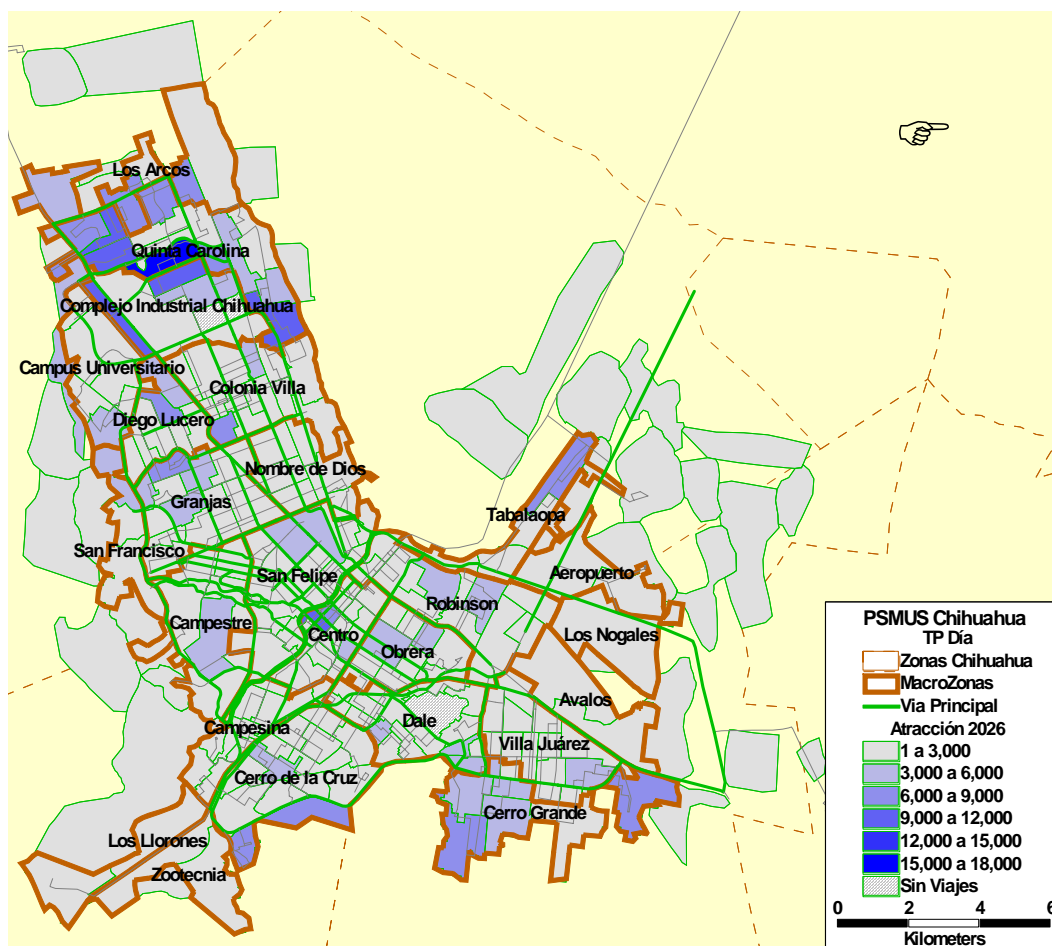
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.64 Viajes generados en transporte público por zona 2026



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.65 Viajes atraídos en transporte público por zona 2026



Fuente: Elaboración propia

4.9 Evaluación Futura del Escenario Línea Base de Oferta

Con los modelos de transporte privado y transporte público calibrados de manera confiable para a situación actual observada en la ciudad y la demanda del transporte pronosticada, se realizó la simulación futura del comportamiento que se tendría en el

2011, 2016 y 2026 bajo el escenario hipotético de mantener la oferta actual constante hasta ese entonces.

4.9.1 Conformación del escenario Línea Base

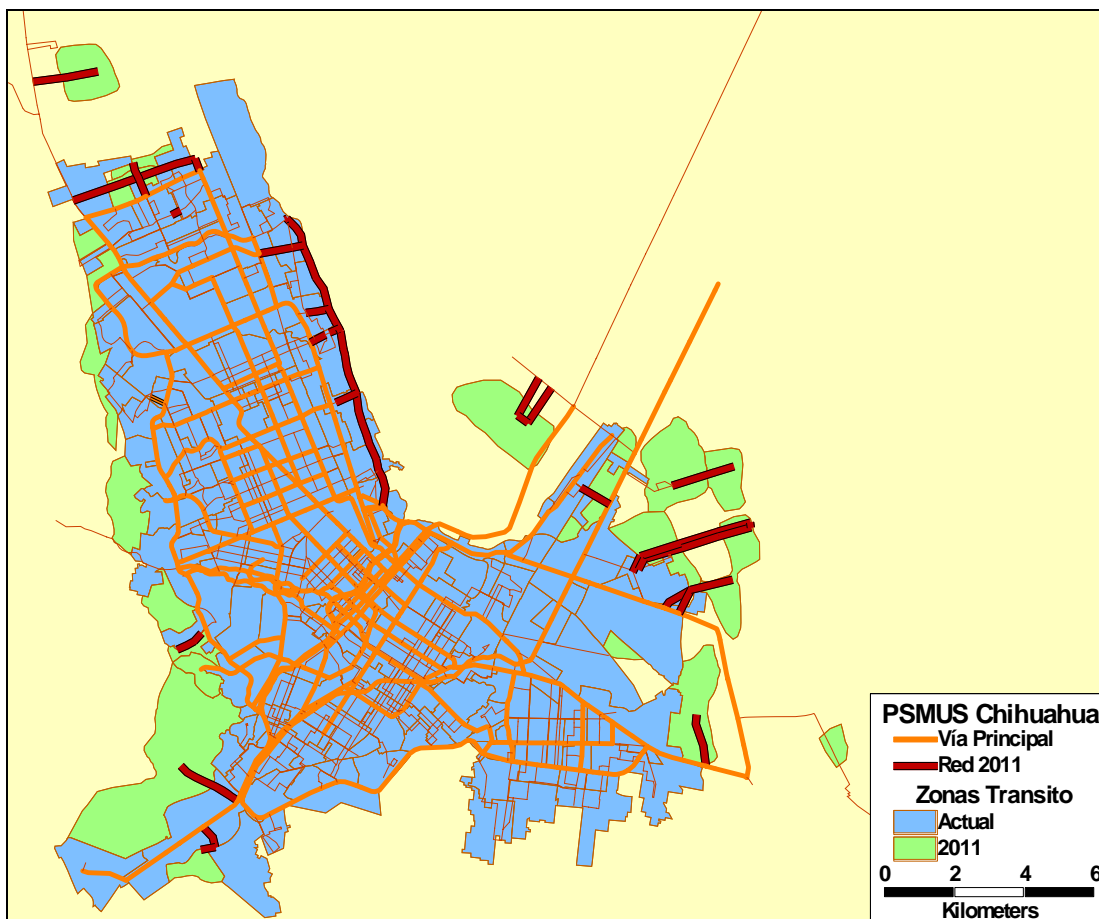
El escenario de oferta definido para ser sometido a evaluación en la etapa de pronóstico, se ha denominado de “línea base”. Además de la estructura actual de la malla vial, este escenario considerará únicamente la infraestructura necesaria para la accesibilidad a nuevas zonas de desarrollo urbano, planteadas para tal fin en el Plan Director Urbano.

De acuerdo con esto, según el año en que se espera esté asentada cada zona de expansión urbana, se efectuó una revisión su accesibilidad a través de la oferta actual de vialidad y de rutas de transporte público.

Para las zonas de expansión en que se observó dificultad en conexión con la infraestructura actual, se definieron vialidades y extensión de rutas actuales para dar servicio a dichas zonas. Es importante mencionar que en los casos en que las extensiones de rutas actuales se hacían extremas, se crearon nuevos servicios para tales sectores.

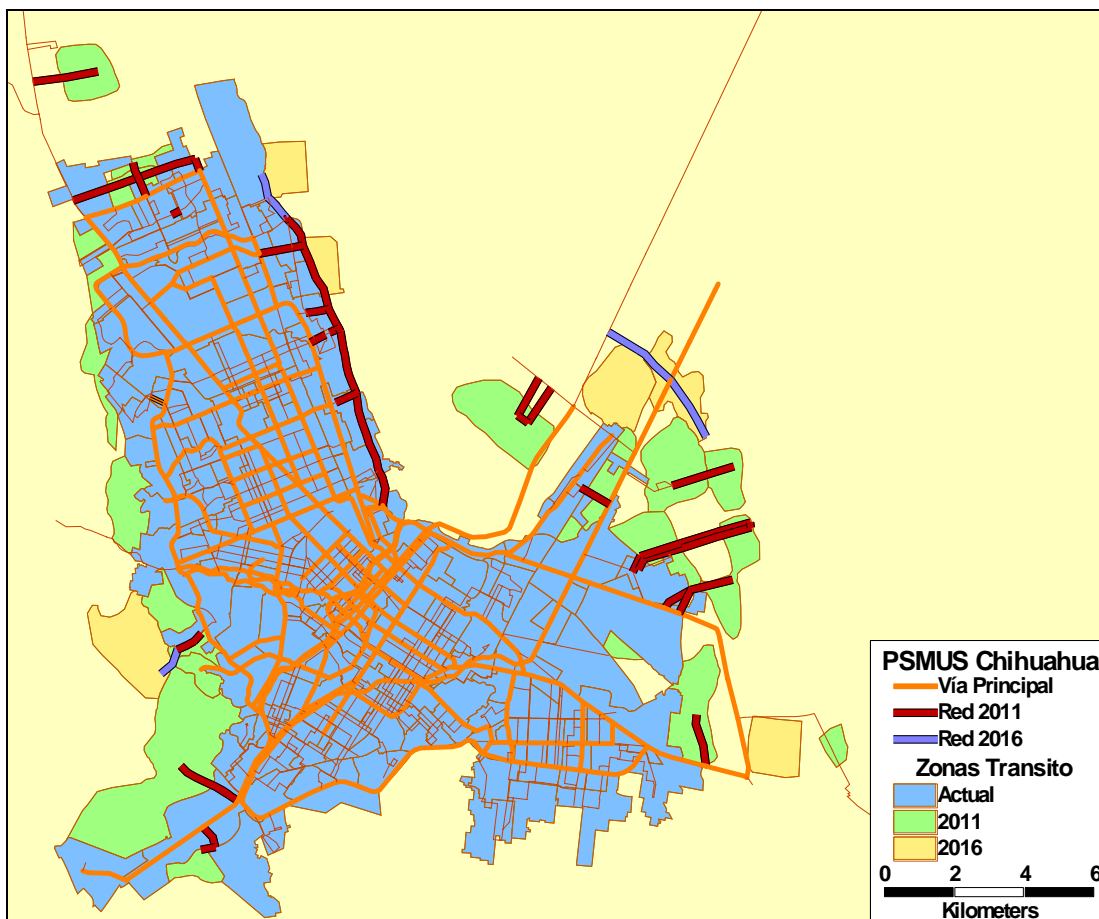
De la Figura 4.66 a la Figura 4.68, se muestran las vialidades creadas para dar accesibilidad a las nuevas zonas de expansión, para los años 2011, 2016 y 2026.

Figura 4.66 Zonas de expansión esperadas a 2011 y sus vialidades de conexión



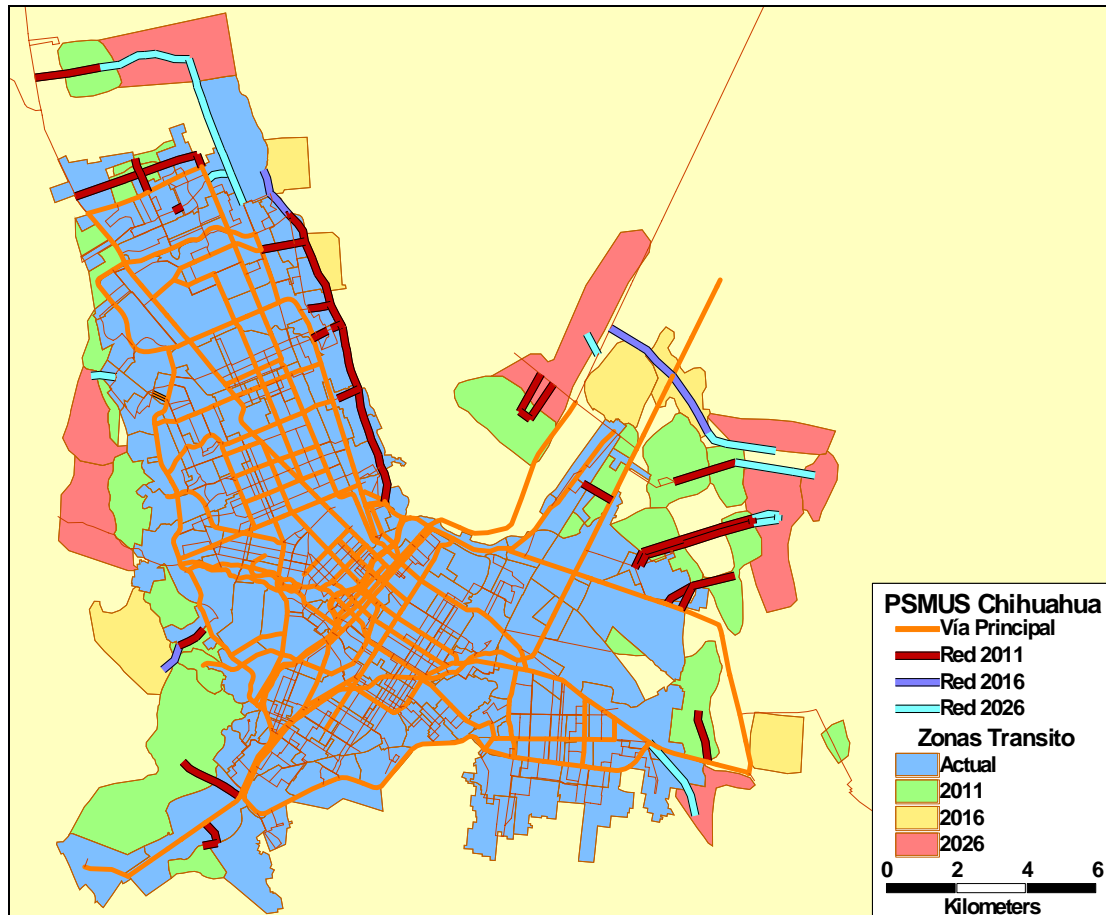
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.67 Zonas de expansión esperadas a 2016 y sus vialidades de conexión



Fuente: Elaboración propia

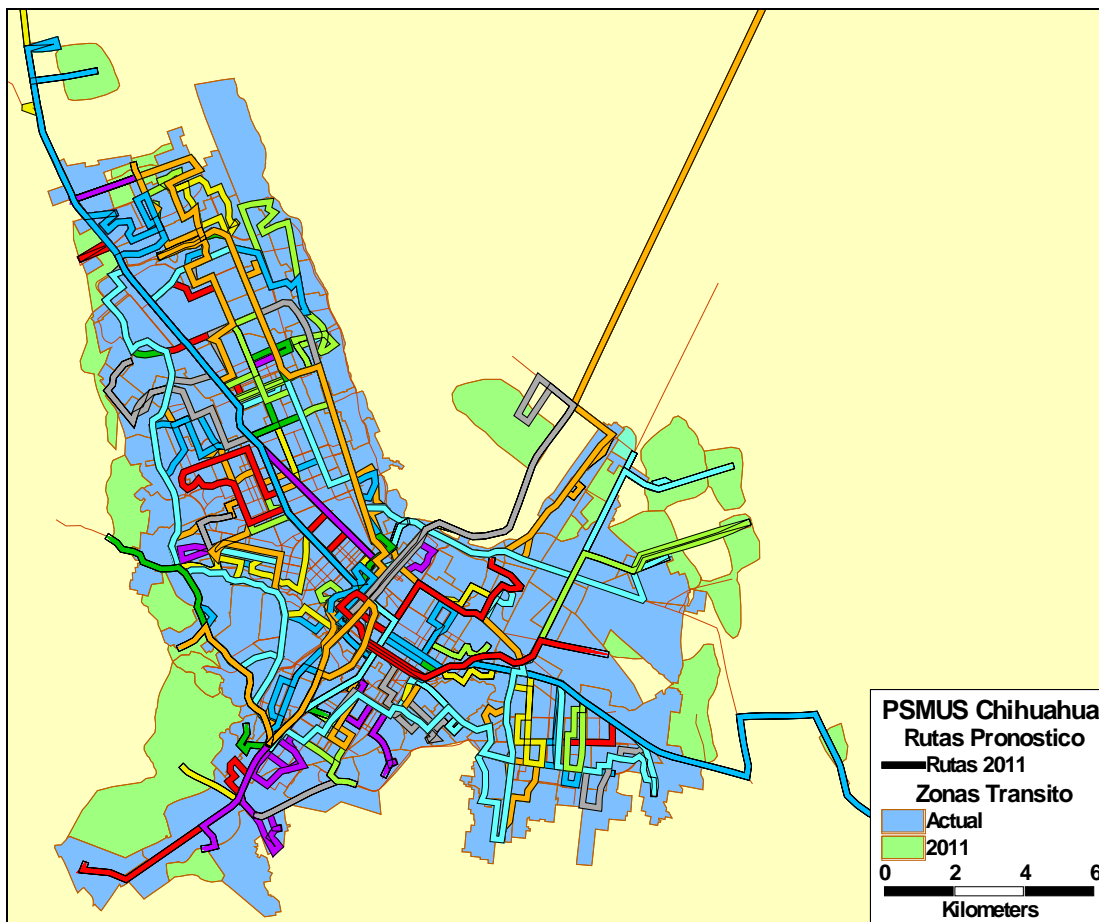
Figura 4.68 Zonas de expansión esperadas a 2026 y sus vialidades de conexión



Fuente: Elaboración propia

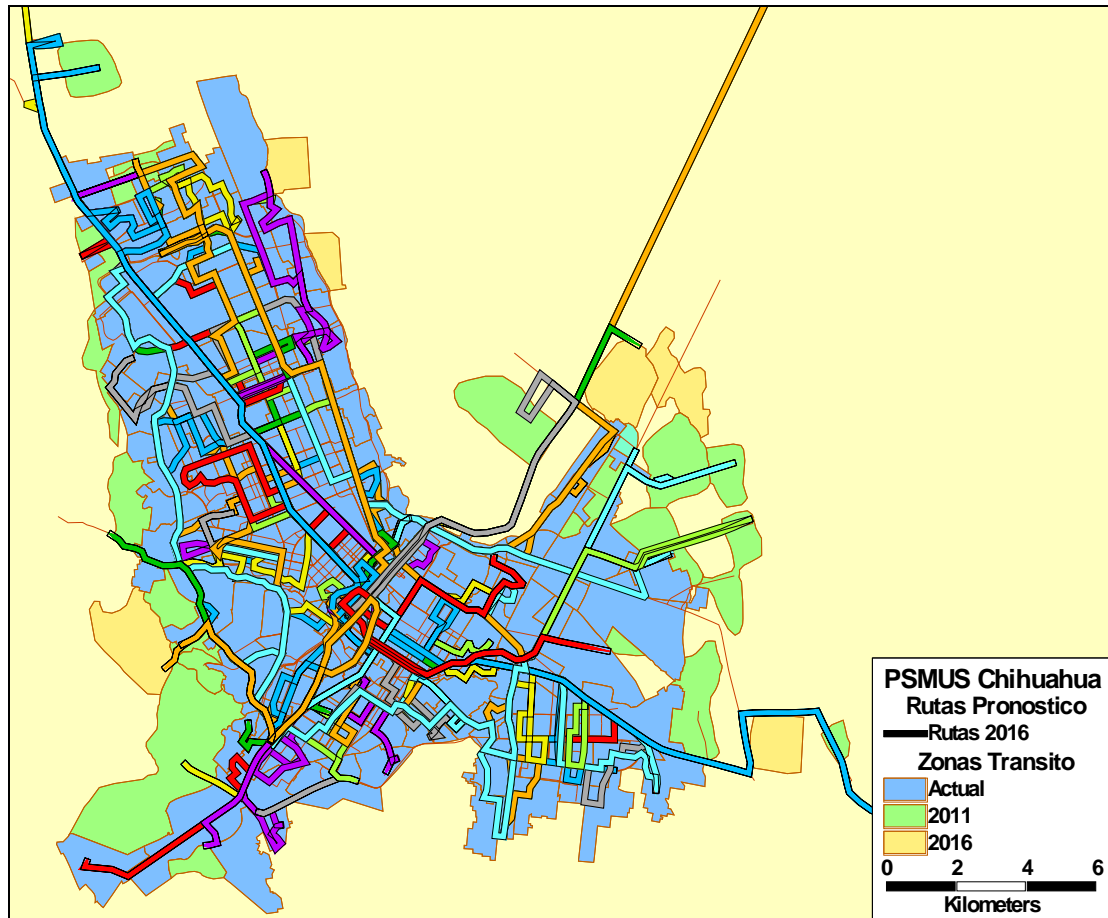
De manera similar para los servicios de transporte público, en la Figura 4.69, la Figura 4.70, y la Figura 4.71, se muestran para los años 2011, 2016 y 2026, las rutas modificadas o creadas para atender las nuevas zonas de expansión urbana.

Figura 4.69 Zonas de expansión esperadas a 2011 y las rutas modificadas o creadas para su servicio



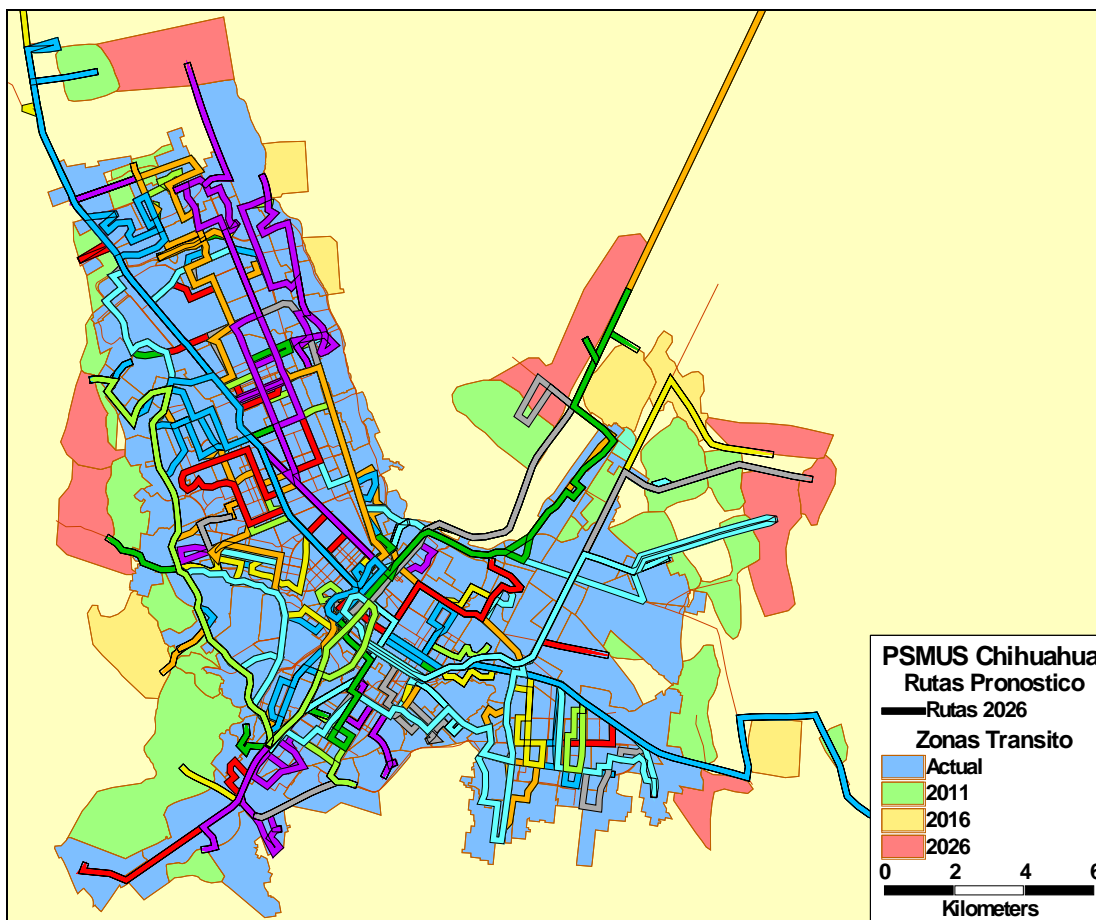
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.70 Zonas de expansión esperadas a 2016 y las rutas modificadas o creadas para su servicio



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.71 Zonas de expansión esperadas a 2026 y las rutas modificadas o creadas para su servicio



Fuente: Elaboración propia

4.9.2 Simulación futura del escenario Línea Base

El objetivo de este análisis fue determinar los niveles de demanda que se movilizarán en el futuro sobre los principales corredores de transporte de Chihuahua, definiendo las características específicas que prevalecerán sobre ellos y sobre el subsistema de transporte en el cual se encuentran inmersos.

Tales características definidas en cada año a través del modelo de simulación, conformaron las bases de datos de entrada a los procesos de estimación de indicadores de desempeño del sistema, los cuales se detallan en los apartes específicos de vialidad, tránsito y transporte público del presente informe. Estos indicadores a la postre servirán

para identificar las condiciones de movilización inapropiadas que a futuro requerirán de la propuesta de alternativas (en vialidad, tránsito y transporte).

Adicionalmente la perspectiva a futuro del sistema de transporte, ofrecerá una visión para la planeación en términos de la selección de la tecnología más adecuada debe responder básicamente a las características de la demanda sobre los principales corredores y a otros aspectos complementarios y no menos importantes como lo son: los costos de inversión en infraestructura y vehículos, las características socioeconómicas de la demanda, el espacio vial disponible y la sostenibilidad de la operación del servicio de transporte.

De la Figura 4.72 a la Figura 4.77, se muestran las asignaciones de automóviles esperadas en cada uno de los periodos pico, durante los años 2011, 2016 y 2026.

Figura 4.72 Asignación del transporte privado. Escenario del periodo pico de la mañana al año 2011



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.73 Asignación del transporte privado. Escenario del periodo pico de la mañana al año 2016



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.74 Asignación del transporte privado. Escenario del periodo pico de la mañana
 al año 2026



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.75 Asignación del transporte privado. Escenario del periodo pico de la tarde al año 2011



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.76 Asignación del transporte privado. Escenario del periodo pico de la tarde al año 2016



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.77 Asignación del transporte privado. Escenario del periodo pico de la tarde al año 2026



Fuente: Elaboración propia

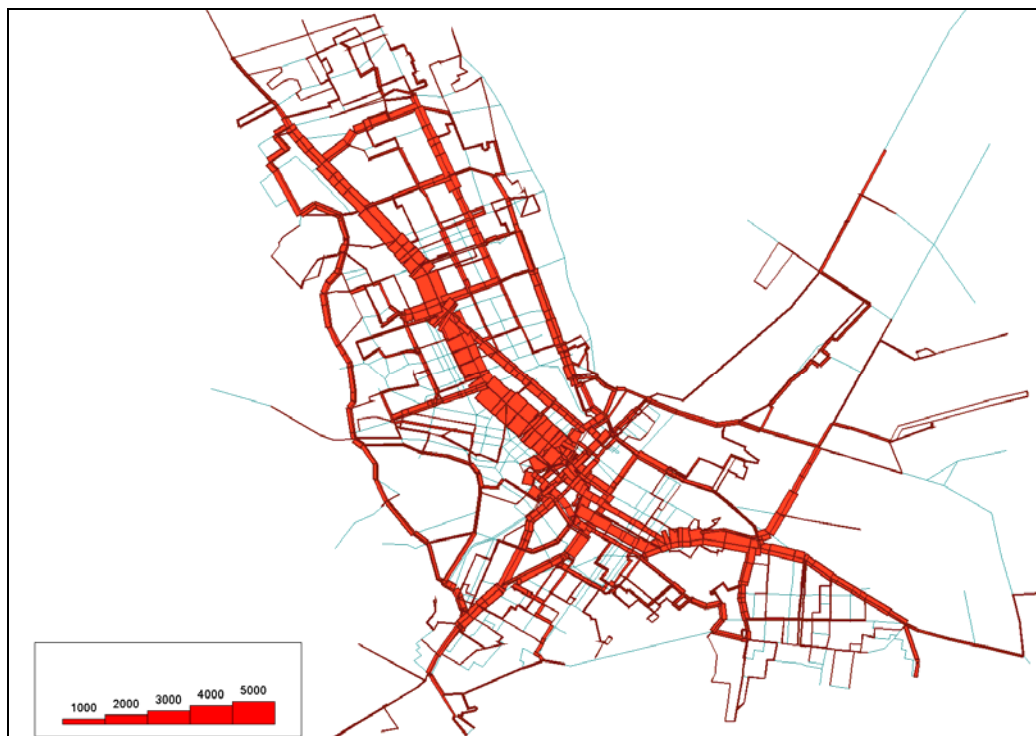
Igualmente para ofrecer una panorámica de los volúmenes de pasajeros esperados a futuro, de la Figura 4.78 a la Figura 4.83 se muestran las asignaciones durante los dos periodos de máxima demanda para cada año de planeación.

Figura 4.78 Asignación de pasajeros. Escenario del periodo pico de la mañana al año 2011



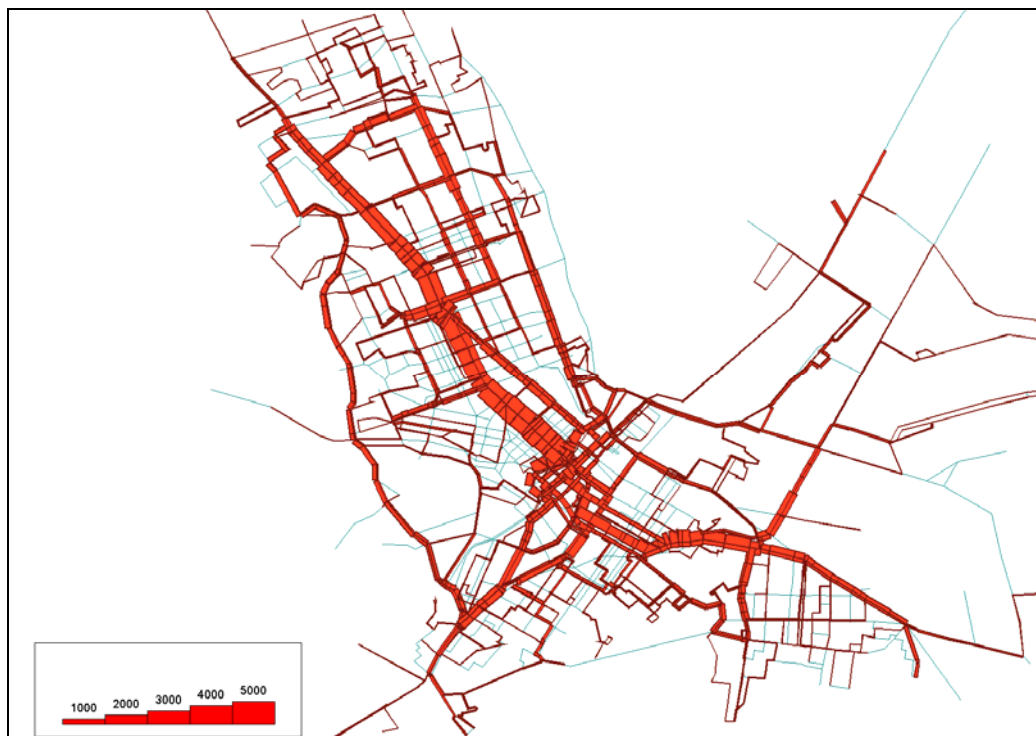
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.79 Asignación de pasajeros. Escenario del periodo pico de la mañana al año 2016



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.80 Asignación de pasajeros. Escenario del periodo pico de la mañana al año 2026



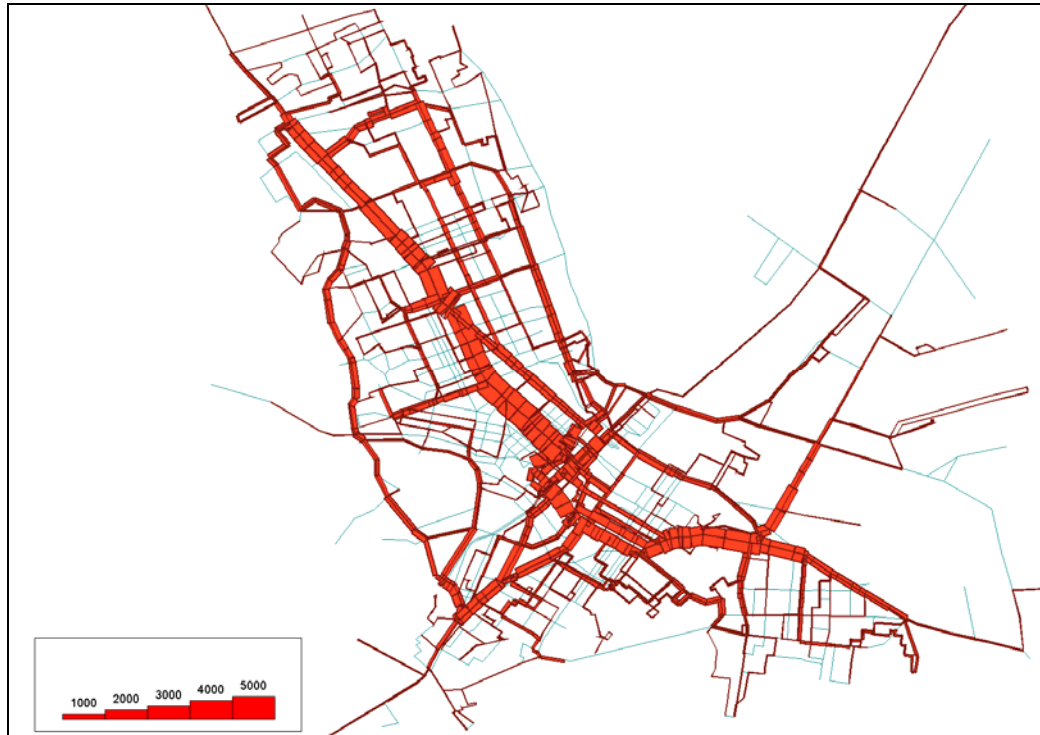
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.81 Asignación de pasajeros. Escenario del periodo pico de la tarde al año 2011



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.82 Asignación de pasajeros. Escenario del periodo pico de la tarde al año 2016



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.83 Asignación de pasajeros. Escenario del periodo pico de la tarde al año 2026



Fuente: Elaboración propia