



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS – TRANSPORTE

PROPUESTA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE CERVEZA
EN EL CENTRO HISTÓRICO
DE COYOACÁN

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
LUIS REYNALDO MOTA SANTIAGO

TUTORA:
DRA. ANGÉLICA DEL ROCÍO LOZANO CUEVAS
INSTITUTO DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. OCTUBRE 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Laurent Yves George Dartois Girald

Secretario: Dr. Ricardo Aceves García

Vocal: Dra. Angélica del Rocío Lozano Cuevas

1^{er.} Suplente: M. I. Luis Alejandro Guzmán Castro

2^{d o.} Suplente: M. I. José Antonio Rivera Colmenero

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Facultad de Ingeniería, C.U., UNAM.

TUTOR DE TESIS:

DRA. ANGÉLICA DEL ROCÍO LOZANO CUEVAS

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

A *Dios*, por todas las bendiciones otorgadas.

A mis queridos padres *Reynaldo y Felisa*, con todo mi cariño y admiración, como ejemplo de esfuerzo, tenacidad y fortaleza.

A mis hermanos *Pablo Ernesto y Elizabeth*, con quienes he compartido grandes experiencias.

A *Mary*, quien siempre ha estado con nosotros de forma incondicional.

Mi agradecimiento sincero a la *Dra. Angélica Lozano*, que tan amablemente me brindó su valiosa ayuda y acertada crítica durante la elaboración de esta tesis.

A mis padrinos *Juan Rubén, Rosa María, Raymundo y Leticia*, por su apoyo y consejo incondicionales.

A mis amigos, que me han brindado su amistad y han formado parte de esta gran aventura.

A todos mis compañeros, a quienes he tenido la oportunidad de conocer a lo largo de los años.

Y a todos aquellos de quienes he aprendido algo.

CONTENIDO

RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
INTRODUCCIÓN	1
1. LA DISTRIBUCIÓN URBANA DE MERCANCÍAS	4
1.1. Definición del transporte urbano de mercancías	4
1.2. El transporte de mercancías como actividad	6
1.2.1. Participantes en el proceso de carga urbana	7
1.2.2. Impacto económico	11
1.2.3. Impactos adversos	13
1.3. Perspectiva internacional	14
1.3.1. Políticas para mitigar el impacto	15
1.3.2. Esquemas de logística urbana	16
1.4. El caso mexicano	18
1.4.1. Zona Metropolitana del Valle de México	22
2. EL CENTRO DE COYOACÁN	26
2.1. Descripción del entorno delegacional	26
2.2. Descripción de la zona de estudio	27
2.2.1. Uso de suelo	29
2.2.2. Demanda de bienes y servicios.....	32
2.2.3. Vialidades	33
2.3. Problemática del Centro Histórico de Coyoacán y Alrededores	35
2.4. Problemas para la distribución de mercancías	38
3. EL PRODUCTO, ELABORACIÓN Y DISTRIBUCIÓN	41
3.1. Características del producto	41
3.1.1. Legislación	41
3.1.2. Participación en la economía.....	42
3.1.3. Panorama de la producción	43
3.2. Proceso de elaboración	44
3.2.1. Materias primas empleadas	44
3.2.2. Primera etapa	45

3.2.3.	Segunda etapa	45
3.2.4.	Tercera etapa.....	45
3.2.5.	Cuarta etapa	46
3.2.6.	Variedades.....	47
3.2.7.	Principales Marcas	49
3.3.	Transporte y Distribución	49
3.3.1.	De la Planta al Centro de Distribución	50
3.3.2.	Generación de órdenes	51
3.3.3.	Del Centro de Distribución al Consumidor Final	52
3.4.	Distribución del producto en la zona de estudio	55
4.	EL PROBLEMA DE RUTAS DE VEHÍCULOS	61
4.1.	Problema del Agente Viajero	61
4.2.	Problema de Ruta de Vehículos.....	63
4.2.1.	Problema de Ruta de Vehículos con Restricciones de Capacidad	64
4.2.2.	Problema de Ruta de Vehículos con Ventanas de Tiempo	65
4.3.	Caracterización del problema	67
4.3.1.	Criterios de clasificación en la literatura.....	67
4.3.2.	Clasificación del Problema de Distribución de Bebidas en el Centro de Coyoacán ...	71
4.4.	Técnicas de solución	73
5.	REPRESENTACIÓN DEL PROBLEMA.....	76
5.1.	Construcción de la representación del problema de estudio	76
5.1.1.	Respecto al proceso de distribución	76
5.1.2.	Demanda del producto	77
5.1.1.	Tipos de vehículo utilizados.....	77
5.2.	SIG-T seleccionado para abordar el problema descrito	80
5.3.	Representación de la red vial del Centro Histórico de Coyoacán	81
5.4.	Representación de los establecimientos	86
5.5.	Representación del depósito	87
6.	ESCENARIOS PARA RUTAS DE DISTRIBUCIÓN DE CERVEZA EN EL CENTRO DE COYOACAN ..	89
6.1.	Consideraciones para la generación de escenarios	89
6.2.	Escenarios para la generación de rutas	93
6.3.	Generación de rutas de distribución a partir del Centro de Distribución	95

6.3.1.	Distribución a los establecimientos utilizando una ruta sin restricciones.....	95
6.3.1.1.	Escenario A1: Distribución utilizando una ruta sin restricciones minimizando el tiempo	95
6.3.1.2.	Escenario A2: Distribución utilizando una ruta sin restricciones minimizando la distancia	100
6.3.1.3.	Comparación de escenarios que buscan minimizar el tiempo y la distancia	104
6.3.2.	Distribución a los establecimientos utilizando dos rutas con restricción de horario	104
6.3.2.1.	Escenario B1: Distribución utilizando dos rutas con restricciones de horario minimizando el tiempo.....	105
6.3.2.2.	Escenario B2: Distribución utilizando dos rutas con restricciones de horario minimizando la distancia recorrida	108
6.3.2.3.	Comparación de escenarios que buscan minimizar el tiempo y la distancia	112
6.3.3.	Distribución a los establecimientos utilizando tres rutas, dos matutinas y una vespertina, con restricción de horario.....	113
6.3.3.1.	Escenario C1: Distribución utilizando tres rutas, dos matutinas y una vespertina, con restricciones de horario minimizando el tiempo de recorrido	114
6.3.3.2.	Escenario C2: Distribución utilizando tres rutas, dos matutinas y una vespertina con restricciones de horario minimizando la distancia recorrida.....	119
6.3.3.3.	Comparación de escenarios que buscan minimizar el tiempo y la distancia	125
6.3.4.	Distribución a los establecimientos considerando entregas nocturnas	126
6.3.4.1.	Escenario D1: Distribución considerando entregas nocturnas minimizando el tiempo de recorrido.....	127
6.3.4.2.	Escenario D2: Distribución considerando entregas nocturnas minimizando la distancia recorrida.....	133
6.3.4.3.	Comparación de escenarios que buscan minimizar el tiempo y la distancia	139
6.4.	Distribución a los establecimientos a partir de una bodega propuesta	140
6.4.1.	Distribución a los establecimientos utilizando tres rutas, dos matutinas y una vespertina, con restricción de horario.....	143
6.4.1.1.	Escenario E1: Distribución utilizando tres rutas, dos matutinas y una vespertina, con restricciones de horario minimizando el tiempo de recorrido	143
6.4.1.2.	Escenario E2: Distribución utilizando tres rutas, dos matutinas y una vespertina, con restricciones de horario minimizando la distancia recorrida.....	148
6.4.1.3.	Comparación de escenarios que buscan minimizar el tiempo y la distancia	152
6.4.2.	Distribución a los establecimientos considerando entregas nocturnas	153

6.4.2.1. Escenario F1: Distribución considerando entregas nocturnas minimizando el tiempo de recorrido.....	154
6.4.2.2. Escenario F2: Distribución considerando entregas nocturnas minimizando la distancia recorrida	159
6.4.2.3. Comparación de escenarios que buscan minimizar el tiempo y la distancia	164
7. DETERMINACIÓN DE LAS MEJORES RUTAS PARA LA DISTRIBUCIÓN	166
7.1. Resultados obtenidos	166
7.2. Selección del escenario	167
CONCLUSIONES	176
REFERENCIAS.....	179

RESUMEN

En la actualidad, la Distribución Urbana de Mercancías (DUM) representa un gran reto para las empresas al utilizar en ella gran parte de sus recursos en la búsqueda por alcanzar dos de sus objetivos fundamentales: satisfacer las necesidades de sus clientes y tener una mayor presencia en el mercado; sobre todo al considerar que los vehículos de reparto tienen que compartir y competir por el espacio público con el resto de los vehículos.

El objetivo del presente trabajo es presentar y aplicar un procedimiento que permita generar una propuesta para la distribución de cerveza a bares y restaurantes del Centro Histórico de Coyoacán.

El procedimiento consiste en: generar la suficiente información geográfica y de las condiciones para realizar las entregas; determinar las mejores rutas de reparto para cada elemento de un conjunto de escenarios en los que varíen las restricciones para realizar las entregas; seleccionar las mejores rutas con base en los criterios determinados.

Los escenarios propuestos a partir de los que se obtienen las rutas de reparto se dividieron en dos grupos, en el primero se utilizan vehículos de combustión interna y los recorridos inician a partir de un Centro de Distribución existente, en el segundo los recorridos inician a partir de una Bodega Propuesta y utilizan vehículos eléctricos.

Para obtener las rutas mínimas se utilizó el modelo de Ruta de Vehículos con Ventanas de Tiempo (PRV-VT) en un Sistema de Información Geográfica para el Transporte (SIG-T). Las rutas obtenidas fueron comparadas y analizadas con base en los criterios siguientes: el tiempo, la distancia, el costo relacionado con la DUM, las emisiones y el número de vehículos utilizados, obteniendo un conjunto de soluciones Pareto Optimal que permite satisfacer las necesidades de los clientes, reducir los costos relacionados con la DUM y las externalidades negativas para los visitantes y residentes del lugar.

ABSTRACT

Nowadays, the Urban Distribution of Goods (UDG) represents a major challenge as companies have to invest much of their resources in the quest to reach two of their most fundamental goals: satisfy the need of their customers and hold a greater presence on the market; especially considering that delivery vehicles must share and compete for public space with other vehicles.

The aim of this work is to present and apply a procedure that permits the generation of a proposal for the distribution of beer at bars and restaurants in the Historic Centre of Coyoacan.

The procedure consists in: generate sufficient geographical and delivery conditions information; determine the best delivery paths of each element of a set of scenarios that change delivery restrictions; select the optimal paths according to the criteria.

The proposed scenarios, from which the delivery paths are obtained, had been sorted in two groups: in the first one, internal combustion vehicles are used and paths depart from the existing Distribution Centre and; in the second one, paths begin from a strategically located warehouse and electrical vehicles are used.

The Vehicle Routing with Time Windows model (VRP-TW) in a Geographic Information System for Transportation (GIS-T) was used to determine the shortest paths. The resulting routes were compared and analyzed based on the criteria: time, distance travelled, the cost related to the UDG, emissions and number of vehicles needed, obtaining a Pareto Optimal Set of solutions that satisfy the proposed goals: fulfill client's needs, reduction in cost related to the UDG and negative effects on third parties.

INTRODUCCIÓN

Las empresas en la actualidad utilizan una buena parte de sus recursos en su búsqueda por alcanzar dos de sus objetivos fundamentales, por un lado satisfacer las necesidades de sus clientes y por otro tener una mayor presencia en el mercado; la distribución urbana de mercancías (DUM) representa entonces un gran reto para cumplir con ellos, sobre todo al considerar que los vehículos de reparto tienen que compartir y competir por el espacio público con el resto de los vehículos.

En este trabajo se optó por considerar como zona de estudio al Centro de Coyoacán debido a que es un ícono para la Ciudad de México al estar catalogado como barrio mágico y combinar la actividad como sede del Gobierno Delegacional con su intensa vida social, cultural, nocturna y su atractivo turístico; al ser un sitio de gran diversidad culinaria (bares, cantinas tradicionales, restaurantes de comida típica mexicana e internacional, etc.) y de la intensa actividad comercial se ha convertido en un polo económico.

Derivado de lo anterior es importante determinar la manera en que se pueden llevar a cabo las entregas de los productos que ahí se consumen, de forma que se satisfagan las necesidades de los clientes y que se reduzcan los impactos negativos para las personas, visitantes o residentes del lugar, y los costos para las empresas relacionados con la DUM.

Por todo ello es que **el objetivo general** de este trabajo es presentar y aplicar un procedimiento que permita generar una propuesta para la distribución de cerveza principalmente en bares y restaurantes del Centro de Coyoacán, y determinar las mejores rutas de reparto a partir de un conjunto de escenarios que permitan reducir factores como el tiempo, la distancia, el costo, las emisiones y el número de vehículos utilizados.

Se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Conocer las características del producto que se va a distribuir.
- Estimar la demanda del producto para la entrega en los establecimientos.
- Determinar los requerimientos de los establecimientos en lo referente a la entrega del producto.
- Generar la información geográfica suficiente que permita el análisis del problema (red vial, ubicación de los establecimientos, etc.).
- Encontrar las mejores rutas para la distribución del producto en el Centro Histórico de Coyoacán al considerar los costos relacionados con la DUM.

- Determinar las opciones de rutas de distribución que permitan disminuir la contribución a la congestión vehicular en la zona de estudio.

El presente trabajo está conformado por siete capítulos en el que se describe y aplica el procedimiento de solución, también se incluye un apartado con las conclusiones; una breve reseña de los mismos se presenta a continuación:

En el *Capítulo 1* se presenta un panorama general de la distribución urbana de mercancías, en donde se abordan la definición y participantes en el proceso de carga urbana desde la perspectiva de diversos autores, además de las externalidades (efectos positivos y negativos) producto de llevar a cabo dicha actividad. En las ciudades, las externalidades negativas son consecuencias no deseadas debido a que deterioran las condiciones de vida de sus habitantes. A nivel internacional se han llevado a cabo diversos esfuerzos, por medio de políticas públicas, que buscan disminuir su impacto; lo anterior da la posibilidad de comparar lo que se ha realizado a nivel nacional, haciendo énfasis en lo que corresponde a la Zona Metropolitana del Valle de México.

En el *Capítulo 2* se describe brevemente la zona de estudio, lugar donde se concentran los establecimientos en que puede ser comercializado el producto, que se encuentra delimitada por el Circuito Interior Río Churubusco y las Avenidas División del Norte, Miguel Ángel de Quevedo y Universidad, y que es conocida como el Centro de Coyoacán. La zona presenta una gran actividad al conjuntarse dentro de ella oficinas del Gobierno Delegacional, infraestructura urbana como hospitales, escuelas, centros deportivos, culturales, etc. y lugares de gran valor histórico-turístico, lo que la ha convertido en un importante polo de atracción para la vida cultural y social de la Ciudad de México. Se describe también la problemática existente dentro de la zona que dificulta la distribución de mercancías dentro de ella.

En el *Capítulo 3* se hace una reseña del producto en donde se señalan los aspectos relevantes, tales como sus características, etapas del proceso de elaboración, variedades, principales fabricantes, participación en la economía nacional, panorama de la producción y el proceso de distribución desde la planta hasta el consumidor final, poniendo especial atención en los factores para la distribución en la zona de estudio.

En el *Capítulo 4* se muestran los modelos de Programación Entera (PE) que permiten modelar los problemas de distribución, planteando su formulación a partir del más general conocido como Problema del Agente Viajero hasta llegar al Problema de Ruta de Vehículos en sus dos variantes más conocidas que corresponden por un lado a Restricciones de Capacidad, y por otro a Ventanas de Tiempo. Se incluyen

algunos criterios de clasificación señalados en la literatura, permitiendo con ellos determinar que la distribución de cerveza en el Centro de Coyoacán se puede modelar como un Problema de Ruta de Vehículos con Ventanas de Tiempo. Finalmente, se abordan algunas técnicas comunes para la obtención de soluciones, conocidas como heurísticas.

En el *Capítulo 5* se menciona que para la resolución del problema planteado se utilizó un Sistema de Información Geográfica para Transporte (SIG-T), por lo que se requirió generar una representación de la información relevante en forma de capas geográficas para que pudiera ser utilizada; se generaron capas con la red vial incluyendo atributos como dirección, velocidad de circulación, etc., además de desarrollar una base de datos con la información de los establecimientos y el Centro de Distribución (CeDis).

En el *Capítulo 6* se presentan los escenarios considerados para generar las rutas de reparto, en los que se busca reducir ya sea la distancia o el tiempo de recorrido; en primera instancia las rutas inician en el CeDis utilizando vehículos de combustión interna, considerando los escenarios generales siguientes:

- distribución mediante una ruta,
- distribución mediante dos rutas,
- distribución mediante dos rutas matutinas y una vespertina, y
- distribución mediante dos rutas diurnas y una nocturna.

Se propuso la implementación de una nueva bodega dentro de la zona de estudio y de la utilización de vehículos eléctricos, considerando los escenarios siguientes:

- distribución mediante dos rutas matutinas y una vespertina, y
- distribución mediante dos rutas diurnas y dos nocturnas

En el *Capítulo 7* se presentan tablas con las rutas que resultaron en los escenarios del capítulo anterior y sus características, siendo el tiempo de recorrido, distancia, emisiones de CO₂ y costo estimado, los criterios establecidos para determinar el escenario con las rutas más adecuadas para llevar a cabo la distribución en la zona de estudio.

Finalmente, se presenta un apartado con las conclusiones obtenidas de la realización del presente trabajo y las referencias de las fuentes consultadas para su elaboración.

1. LA DISTRIBUCIÓN URBANA DE MERCANCÍAS

Desde la antigüedad, los bienes que la población necesitaba, en su mayoría no eran producidos en los lugares donde serían consumidos o no eran accesibles en el momento que eran requeridos. Los bienes estaban muy dispersos por toda la tierra y sólo abundaban por temporadas. Ante esta situación, las opciones eran consumir los bienes en el lugar y momento en que se encontraban disponibles o trasladarlos hacia donde normalmente cada grupo humano realizaba sus actividades y almacenarlos para ser utilizados posteriormente; sin embargo, dado que no existían las condiciones adecuadas, el traslado de bienes se limitaba únicamente a lo que cada individuo pudiera llevar mientras que el almacenamiento de perecederos era posible por periodos muy cortos, lo que obligaba a los diversos grupos humanos a vivir cerca de las fuentes de producción y a consumir una limitada variedad de productos (Rojas, et. al., 2011).

A partir de la revolución industrial, se focaliza la concentración de la población en lugares específicos, lo que da pie al crecimiento de las antiguas ciudades y a la fundación de otras; además, al generarse una cantidad mayor de productos orientados a satisfacer las necesidades de la población, simultáneamente se incrementa la problemática relacionada con la entrega y el abasto de dichos bienes (Rojas, et. al., 2011).

Lo anterior pone de manifiesto que el transporte de mercancías es un factor fundamental para las actividades económicas y un detonante del desarrollo regional; desde la perspectiva urbana, hace posible sostener las actividades cotidianas de sus pobladores, sin embargo, también genera impactos no gratos.

En el presente capítulo se muestra un panorama general del transporte urbano de mercancías, sus implicaciones económicas, impactos a los habitantes de las urbes y políticas que lo rigen, vistos desde una perspectiva internacional y la situación predominante en el caso mexicano.

1.1. Definición del transporte urbano de mercancías

La cadena de suministro es una red de instalaciones y medios que tienen por función la obtención de materiales para ser transformados en productos susceptibles de ser comercializados y posteriormente ser distribuidos para su adquisición por el consumidor final. Incluye todas las actividades relacionadas con el flujo y transformación de los bienes desde la etapa de materia prima hasta su consumo por el usuario final

(Figura 1) por lo que el abastecimiento se vuelve un factor estratégico. La logística inversa es todo aquello que se necesita regresar en el proceso a lo largo de la cadena de suministro.

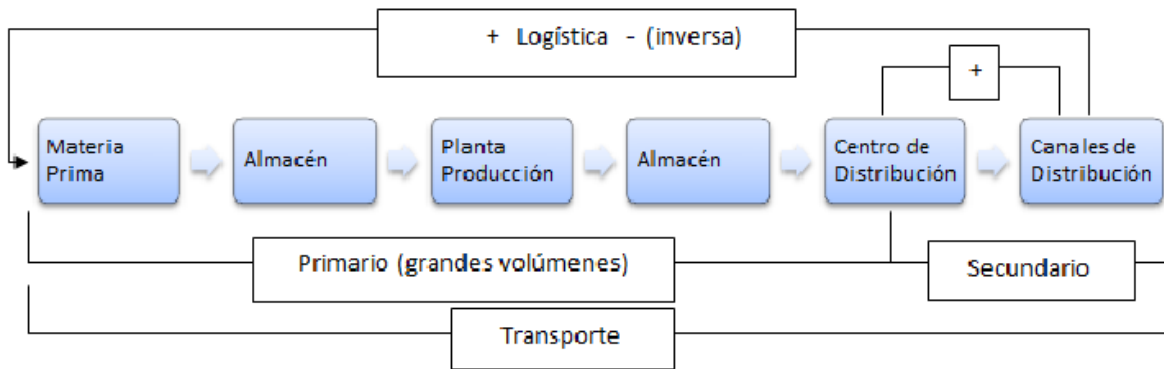


Figura 1 Descripción esquemática de una cadena logística.

La distribución urbana de mercancías (DUM) es la última etapa en la cadena de suministro, en ocasiones conocida como logística de última milla, que involucra principalmente los movimientos relacionados con el desarrollo de las operaciones comerciales (Antún, 2013).

Diversos autores han tratado de definir la actividad del transporte urbano de mercancías, algunos de ellos se citan a continuación:

Para Ogden (1992), el movimiento urbano de bienes se define como:

“el movimiento de las cosas (a diferencia del de los pasajeros) hacia, a partir, dentro y a través de las zonas urbanas”

el autor hace énfasis en que los términos *movimiento urbano de bienes* y *carga urbana* son utilizados esencialmente como sinónimos.

Taniguchi et al. (2001) retoman el tema y enuncian el concepto de *Logística urbana* como:

“el proceso para la optimización total de las actividades logísticas y de transporte realizadas por empresas privadas en áreas urbanas mientras se considera el entorno de tránsito, la congestión y el consumo de energía dentro del marco económico de mercado.”

Por otro lado, el Grupo de Trabajo de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) define el término de *logística urbana de mercancías* como:

“La distribución de bienes de consumo (no solo al menudeo) en ciudades y áreas urbanas, incluyendo el flujo inverso de bienes utilizado en términos de limpieza de residuos” (OCDE, 2003).

Como se puede apreciar en las definiciones anteriores, el concepto de logística urbana ha evolucionado desde su concepción como la actividad de llevar mercancías de un punto a otro dentro de una zona urbana hasta incluir elementos más complejos como la disminución del impacto en el medio ambiente, emisiones de gases contaminantes o ruido, y la calidad de vida de los pobladores; incluye operaciones tales como entrega, recolección, carga, descarga, transferencia, colocación en puntos de venta, etc. tomando en cuenta que el objetivo principal de la logística urbana es optimizar la gestión de los sistemas logísticos que permitan el aprovisionamiento y distribución dentro de un área urbana con el objeto de cumplir con las expectativas del consumidor.

1.2.El transporte de mercancías como actividad

El transporte de carga consiste en trasladar los bienes desde donde se producen o almacenan hasta donde son requeridos para su transformación o consumo y tiene como característica que su producción no es almacenable, es decir, se debe producir en el momento y lugar en que es requerido, sin embargo, de manera general las necesidades de los usuarios no son las mismas en diferentes lugares ni uniformes a lo largo del tiempo lo que implica que la oferta de transporte podría ser superior o inferior a la demanda en determinadas circunstancias (de Rus et al., 2003).

Cada área urbana es única, con su propio patrón de actividad industrial, comercial, uso de suelo, etc., lo que implica que las actividades de carga asociadas a dicha área también son únicas por lo que no pueden ser transferidas íntegramente a otros lugares y esperar obtener los mismos resultados. Aspectos como la importancia económica de la carga, la distribución de los tipos de camiones, su propiedad, la distribución de los viajes por uso de suelo y materiales, la proporción de los camiones en el flujo de tráfico, generación de carga y la diferencia entre las características de viaje de los camiones son, probablemente, de aplicación general, a pesar de que las características específicas variarán de acuerdo con cada área urbana (Ogden, 1992).

El incremento en el número de vehículos de pasajeros ha llevado al transporte de pasajeros y al de mercancías a competir por el limitado espacio urbano, por lo que con frecuencia se le da prioridad al primero en la formulación de políticas públicas. A menudo las personas hacen uso de sus vehículos para llevar los bienes a sus hogares, por lo que los vehículos de pasajeros deben ser considerados como un eslabón final de la cadena logística, debiendo tener como consecuencia natural que las políticas de transporte urbano de mercancías tomen en cuenta las interacciones entre las personas y mercancías (OCDE, 2003).

1.2.1. Participantes en el proceso de carga urbana

El transporte urbano de mercancías se considera complejo y heterogéneo debido a la multitud de actores que participan de la actividad, la diversidad de requerimientos de los usuarios y las características de los vehículos (de Rus et al. 2003).

Al reconocerse la entrega de los bienes de consumo como sólo una parte de toda la cadena logística en donde intervienen una gran cantidad de actores, las actividades relacionadas y los que en ellas intervienen deben ser analizados desde una perspectiva sistémica amplia; Ogden (1992) propone la siguiente categorización y caracterización para los participantes en el proceso de carga urbana:

Embarcadores (Shippers): son aquellas personas u organizaciones en el origen de un envío, cubren un amplio espectro de actividades industriales, comerciales y minoristas en la economía. Por lo general, son quienes organizan y pagan por el transporte de mercancías por lo que se puede decir que están interesados primeramente en el costo total de las operaciones de distribución, normalmente intentarán minimizar los costos logísticos totales sujetándose a la prestación de un nivel de servicio aceptable para el receptor. Tienen interés en contar con las instalaciones de carga adecuadas y las relaciones industriales que permitan la salida eficiente de los productos.

Receptores (Receivers): son entidades en el destino final de un envío y pueden cubrir también casi todos los sectores de la economía. Casi todas las empresas son tanto embarcadoras como receptoras, teniendo un gran cuidado en los costos de despacho pero siendo relativamente indiferentes frente a los costos de recepción. Su meta es minimizar los costos de transporte dentro de un marco logístico

más amplio, normalmente no pagan directamente por los servicios de transporte por lo que se encuentran más enfocados al nivel de servicio y al manejo eficiente de las mercancías al arribar.

Agentes de carga (Forwarders): son intermediarios de servicios de transporte que se pueden encontrar entre el embarcador y uno o varios operadores de transporte. Su papel es esencial para la economía de operación mediante la consolidación de los envíos de dos o más embarcadores. Pueden operar su propia flota de camiones, raramente mediante contratistas o con una mezcla de ambos. Su objetivo está orientado a las ganancias lo que se refleja en sus intentos por minimizar el costo y maximizar el rendimiento.

Empresas de transporte (Trucking Firms): tienen una gran variedad de formas, se caracterizan según su tamaño, área de operación y personalidad jurídica:

- **Tamaño:** van desde un solo camión hasta flotillas de carácter nacional e internacional. Los agentes de carga y las empresas de transporte prefieren utilizar operadores – propietarios debido a que tienden a tener menores costos y trabajar más arduamente.
- **Área de operación:** existen diferentes grados de especialización, incluye el transporte urbano y depende de la segmentación del mercado de acuerdo a las diferentes industrias o a los embarcadores específicos.
- **Legal:** en varios países o estados existen algunas restricciones legales en la operación del transporte carretero incluso en momentos de desregulación. Se pueden agrupar como empresas de transporte público, empresas de transporte privado, contratistas de transporte y compañías exentas.

Conductores (Truck Drivers): ocupan un papel clave. Operar un camión es un trabajo calificado y operarlo en el tránsito urbano congestionado, especialmente si es uno de grandes dimensiones, es estresante. La responsabilidad del operador no solo recae en la seguridad y protección del camión y su carga, también en hacer cumplir los compromisos contraídos respecto a los horarios de entrega.

Operadores de Terminal y Firmas en otros Modos de Transporte (Terminal Operators and Firms in other Modes of Transport): son la interfaz entre los diversos modos de transporte de carga por ejemplo puertos marítimos, aeropuertos, terminales de trenes. Las terminales de camiones pueden ser parte

de un sistema integrado, donde las mercancías se mueven alineadas entre las operaciones urbanas de la compañía y sus operaciones de acarreo de línea.

Impactados (Impactees): son quienes resultan afectados de alguna forma por el sistema urbano de transporte de mercancías aún cuando no se encuentran directamente relacionados, en este sentido todos los residentes urbanos son impactados por que cada uno recibe los beneficios del sistema. Los impactos incluyen efectos ambientales, de seguridad, equipamiento residencial y sobre el valor de la propiedad. Su objetivo es simple: tratar de reducirlos o eliminar los problemas. En algunos casos los impactos del transporte urbano de carga pueden ser severos por lo que en ocasiones la intervención del gobierno es apropiado para minimizar su extensión.

Autoridades de Caminos y Tránsito (Road and Traffic Authorities): incluye las agencias de todos los niveles de gobierno que tienen la responsabilidad sobre el control de tránsito además de la construcción y mantenimiento de caminos.

Gobierno (Government): Es responsable de la asignación de recursos públicos en diversos rubros relacionados con el transporte a todos los niveles y en todos los aspectos, teniendo una serie de intereses en el transporte urbano además de la regulación de las diversas actividades del sector.

A su vez, Taniguchi et al. (2001) sintetizan las funciones presentadas y consideran que existen cuatro tipos de actores clave involucrados en el transporte urbano de mercancías, caracterizados de la forma siguiente:

Embarcadores (Shippers): son los clientes de los transportistas, los cuales envían o reciben mercancías; tienden a maximizar sus niveles de servicio requeridos, lo que incluye el costo, el tiempo de recolección, entrega y confiabilidad del transporte tanto como la información posterior.

Transportistas de carga (Freight Carriers): intentan minimizar los costos asociados a la recolección y entrega de bienes a los clientes para maximizar sus ganancias. Tienen la presión de proporcionar niveles de servicio más altos a un menor costo total.

Residentes (Residents): son personas que viven, trabajan y compran en la ciudad. Les gustaría minimizar los impactos como congestión, ruido, contaminación del aire y accidentes cerca de sus viviendas y lugares de compra.

Administración de la ciudad (Administrators): buscan mejorar el desarrollo económico de la urbe e incrementar las oportunidades de empleo para su población. Su objetivo es aliviar la congestión, mejorar el ambiente e incrementar la seguridad en las vialidades dentro de la ciudad.

Es evidente que existen coincidencias importantes entre las categorizaciones que proponen ambos autores, sin embargo, Ogden realiza una división menos generalista en las funciones de los actores, en donde se puede resaltar que en primera instancia enfatiza la función del factor humano para los transportistas al diferenciar entre la organización de la empresa y los operadores de la flota; considera el aspecto de la infraestructura, las estructuras organizacional y operativa, así como también al hacer la separación respecto a la administración de la ciudad entre las autoridades de caminos y el gobierno.

Ogden (1992) indica que el proceso de transporte inicia en el embarcador y termina en el receptor; en donde por lo general la responsabilidad del envío corre por parte del embarcador, sin embargo, en la mayoría de los casos los detalles del sistema de distribución, incluyendo los plazos de entrega, modos usados, etc., deben ser sujetos a negociación y ser indicados dentro del contrato entre el embarcador y el receptor.

Por lo general el embarcador tiene tres opciones básicas:

- utilizar su propia flota vehicular para realizar las entregas,
- involucrar a una empresa de transporte para llevar a cabo la tarea, o
- emplear los servicios de un agente de carga.

Es importante hacer énfasis en que el transporte de mercancías es sólo una parte de la cadena de suministro en la cual se debe asegurar que los bienes estarán en el lugar correcto a la hora indicada y en condiciones adecuadas para garantizar su éxito.

1.2.2. Impacto económico

De manera general, el impacto económico se relaciona con las contribuciones que el sector de transporte de mercancías puede hacer al desarrollo económico de las áreas urbanas, siendo éste un componente importante en la economía de cualquier nación por lo que un objetivo importante en la generación de políticas públicas dirigidas al transporte debe estar enfocado hacia la generación y mejoramiento de los sistemas de transporte de carga como motor del desarrollo regional, estatal o nacional.

Ogden (1992) señala que la demanda del transporte de carga surge de la demanda de bienes y del uso de suelo que por ende se genera; desde la necesidad de materias primas para los procesos de producción o de la distribución hacia las tiendas, consumidores o intermediarios, es decir que surge del proceso económico de producción y consumo, pudiendo considerar que el transporte agrega utilidad a partir de lo siguiente:

- Utilidad de ubicación: cuando los bienes se encuentran en donde se requieren.
- Utilidad de tiempo: en el momento en que se requieren.
- Utilidad de forma: en una forma útil.
- Utilidad de posesión: en la propiedad del usuario que lo necesita.

Esto no agrega valor por sí mismo a los productos que son transportados, pero hace posible que otros sectores de la economía si lo hagan.

Los costos del transporte urbano de mercancías son comparables en magnitud con los de transporte de pasajeros, en ambos casos se incrementan de manera similar al crecimiento del área urbana por lo que es importante considerar el costo del transporte urbano de los bienes como un componente de su costo particular tomando en cuenta a su vez que la importancia del costo de transporte disminuye en la medida que el valor del producto se incrementa (Ogden, 1992).

Las empresas han ampliado el ámbito de sus operaciones de abastecimiento y distribución, por lo tanto, el transporte urbano de mercancías se ha integrado con el transporte de largo recorrido. El sector minorista busca minimizar costos, lo que resulta en requerimientos más estrictos que incluyen la reducción de plazos de entrega y entregas justo a tiempo. La necesidad de responder más ágilmente a las variadas y

cambiantes necesidades de los clientes requiere que el flujo de la cadena de suministro sea cada vez más sensible al tiempo (OCDE, 2003).

Dado que los camiones dominan el transporte urbano de carga, es importante considerar la propiedad de las flotillas encargadas del transporte de mercancías, que por lo general se pueden dividir en cuatro clases (Ogden, 1992):

- Camiones propiedad de transportistas comerciales, quienes transportan carga para otros.
- Transportistas particulares, quienes transportan sus propios bienes como una parte adjunta del negocio principal de la empresa.
- Uso personal, los cuales son camiones cuya propiedad y operación es similar a la de un automóvil; pueden o no transportar carga y en caso de que lo hagan suelen ser herramientas de comercio o materiales para construcción.
- Gubernamentales, utilizados por el gobierno a todos los niveles para llevar a cabo sus múltiples funciones.

Ogden (1992) también menciona que entre las características a considerar en la elección de los camiones a utilizar se pueden incluir:

- configuración,
- tipo de caja,
- masa y dimensiones,
- número de llantas o ejes y distancia entre ellos,
- capacidad de carga / volumen,
- tipo de propiedad del vehículo,
- control de operación, y
- cualquier característica especial relacionada con su uso.

1.2.3. Impactos adversos

Una externalidad se produce cuando un agente lleva a cabo una acción de la cual se derivan efectos (positivos o negativos) que tienen un impacto en forma de beneficios o costos sobre otros agentes y tiene como característica que el agente causante de los efectos externos no está obligado a realizar ningún pago por concepto de indemnización a los afectados a quienes ha impuesto costos, o no tiene derecho a recibir una compensación por los beneficios generados (de Rus et al. 2003).

El estudio de las externalidades en la industria del transporte suele centrarse en los efectos negativos debido a la mayor magnitud de los mismos. Sin embargo una cuantificación completa debería considerar tanto los efectos negativos como algunos positivos que también se generan por las actividades de transporte y por las infraestructuras necesarias para el desarrollo de dichas actividades.

Dado que el transporte urbano de mercancías a menudo se lleva a cabo en zonas con una alta densidad de población además del uso mixto del espacio público originado por la naturaleza de su actividad, se encuentra con problemas de accesibilidad, los cuales se deben principalmente a la insuficiente infraestructura, las restricciones de acceso o la congestión. Lo anterior se traduce en vehículos de carga causando la interrupción del tráfico y aún más congestión.

El transporte de mercancías contribuye considerablemente a generar problemas ambientales tales como: emisiones, ruido, vibraciones, y obstáculos físicos.

También causa problemas de seguridad debido a: tamaño y maniobrabilidad de los vehículos, y al llevar a cabo operaciones de carga/descarga en las vialidades; por lo tanto, pueden llegar a ser una causa importante de accidentes.

La corrección de cualquier efecto externo negativo puede llevarse a cabo mediante la utilización de mecanismos que persigan que los agentes que generan el efecto internalicen los costos y realicen las acciones más apropiadas para minimizar los impactos generados. Todas las externalidades negativas comparten características comunes: un agente realiza un uso de un agente compartido por el cual, en principio, no tiene que asumir un costo directo, lo que lleva a una sobreutilización del mismo, al no tener en cuenta los efectos negativos que está causando sobre los demás usuarios. La solución no es impedir

completamente el acceso al recurso al agente al que causa la externalidad, sino buscar mecanismos para que la actividad se mantenga en un nivel de utilización óptimo, que debería determinarse considerando conjuntamente tanto los beneficios producidos como los efectos negativos generados (de Rus et al. 2003).

A pesar de que está claro que el transporte urbano de mercancías es fundamental para mantener el funcionamiento económico y social de las ciudades, parece que hay un grave desconocimiento de sus beneficios. La conciencia parece ser más bien de un solo lado, centrándose más en sus problemas que en su importancia (OCDE, 2003).

1.3.Perspectiva internacional

El transporte de mercancías afronta grandes retos, sobre todo a raíz de la última crisis económica mundial iniciada en 2008 en los Estados Unidos y conocida como la Gran Recesión, por lo que para poder responder ante tal circunstancia son necesarias soluciones a la altura de los retos y que permitan reducir los costos de transporte, mejorar la logística y ganar ventajas competitivas de forma creativa (Stalk, 2009).

De acuerdo con Stalk (2009), años atrás las empresas construían sus plantas en lugares de bajo costo de operación lejos de sus clientes ubicados en las grandes urbes, desde donde enviaban sus productos en parte favorecidos por costos logísticos decrecientes y precios de combustibles estables; posteriormente esto cambió a países logísticos como China. Pero a medida en que las cadenas de suministro y distribución se han vuelto más grandes y complejas, las empresas se han dado cuenta que los costos logísticos pueden reducir o incluso eliminar los beneficios obtenidos de una manufactura barata; los cuales se encuentran relacionados con los altos costos de combustibles, el tiempo en que las mercancías se encuentran en tránsito (sobre todo cuando se trata de productos cuyas tendencias son cambiantes), variabilidad en tiempos de entrega, costos de oportunidad y cambios de modo de transporte.

Una empresa no puede evitar las crisis en la infraestructura y los precios de los combustibles, pero sí puede buscar que los efectos negativos le afecten en menor medida que a sus competidores; el primer paso es comprender el costo y el tiempo de compensación integrados en su sistema logístico, donde pequeños costos pueden significar grandes ahorros de tiempo evitando desabasto y excesos de existencias. Una opción a tomarse en cuenta es la de embarcar los productos por avión, lo cual reduce de forma drástica el

tiempo de recorrido en comparación con los barcos y es recomendable para productos con altos márgenes de utilidad o con alta variabilidad de su demanda.

Los costos de producción en algunas regiones pueden ser más altos que en Asia, sin embargo, su ventaja competitiva es la reducción de costos de transporte y distribución, ante tal situación se está optando por volver a acercar los centros de producción a las zonas de demanda (Stalk, 2009).

Frente a la tendencia antes mencionada, sobre todo en las zonas urbanas del mundo en desarrollo, el incremento en los tiempos de viaje y el decremento en la accesibilidad son condiciones cada vez más comunes, sobre todo ante situaciones como el rápido crecimiento del parque vehicular, aún cuando es conocido que la movilidad impulsa el desarrollo económico (Gakenheimer, 1999).

1.3.1. Políticas para mitigar el impacto

Para hacer frente a la situación señalada, es necesario el desarrollo e implementación efectiva de medidas que reduzcan el impacto social del movimiento de bienes, buscando llevarlo al menor nivel posible al tiempo que se propicie alcanzar a cubrir los requerimientos de transporte de carga y las metas de la sociedad (Ogden, 1992).

De acuerdo con el documento *Delivering the goods, 21st Century Challenges to Urban Goods Transport* de la OCDE, los países se encuentran en diferentes fases relativas a la elaboración de políticas públicas sobre el transporte urbano de mercancías, en donde aún teniendo situaciones diferentes se afrontan retos comunes; al reconocer que la entrega de bienes en las ciudades es esencial para mantener sus funciones socioeconómicas se ha hecho evidente que la falta de conciencia y conocimiento es un obstáculo entre gobiernos, urbanistas y público en general al contar con políticas de transporte e instalaciones previstas sólo enfocadas hacia el transporte de pasajeros (OCDE, 2003).

La falta de evaluaciones previas y posteriores a la implementación de las políticas, genera la ausencia de herramientas analíticas para evaluar la eficacia de sus normativas resultando en medidas que causan efectos secundarios inesperados; por otro lado, al centrarse en problemas y soluciones a corto plazo a pesar de que el transporte urbano se integra con el de larga distancia, las medidas sólo tienen en cuenta el área urbana y prestan poca atención a la cadena de suministro en su conjunto, observándose que el

grado de participación de los gobiernos nacionales en el transporte varía sobre todo al darle a los problemas un tratamiento a nivel local o regional, lo que resulta en una falta de coherencia entre las medidas locales o regionales, los reglamentos tienden a ser no armonizados, inestables y con frecuencia no se cumplen. Pocos países han desarrollado una política nacional centrada en el transporte. (OCDE, 2003).

Finalmente, el grupo de la OCDE señala que se intenta implantar políticas innovadoras, conformadas por nuevas prácticas que buscan desviar el tráfico de mercancías de las zonas residenciales o de oficinas en ciertos horarios con resultados prometedores; también la consolidación de las entregas es una herramienta importante para la resolución de problemas; sin embargo, en ocasiones se enfrentan a una poca atención para adoptarlas o facilitarlas a través de normativas auxiliares (OCDE, 2003).

A diferencia de las ciudades europeas, donde la planeación del transporte de carga se ha dirigido a la preservación de centros históricos o a la protección de los residentes ante la contaminación ambiental; las medidas en los países en desarrollo se han concentrado principalmente en acciones paliativas para la reducción de la congestión (Lyons, 2012).

Lyons (2012) menciona que las medidas recomendadas para mitigar el impacto del transporte de carga en el documento desarrollado por la Agencia Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) “Transporte Urbano de Carga para Ciudades en Desarrollo – Módulo 1g” no difieren en gran medida de las acciones en países industrializados. Su principal recomendación es la adaptación y evaluación de éstas para utilizarlas en cada zona urbana en particular.

La afirmación anterior coincide con la afirmación de Ogden en el sentido de que cada área urbana es única, por lo que las actividades de carga asociadas no pueden ser transferidas íntegramente entre los lugares y esperar obtener los mismos resultados.

1.3.2. Esquemas de logística urbana

Taniguchi et al.(2001) mencionan que ante la creciente necesidad de mitigar los impactos en el ámbito del transporte de mercancías antes mencionado, existen iniciativas logísticas implementadas en las ciudades las cuales usualmente incluyen una o más de las que se señalan a continuación:

- Sistemas de información avanzados.
- Sistemas de cooperación de transporte de mercancías.
- Terminales logísticas públicas.
- Controles de factores de carga.
- Sistemas subterráneos de transporte de mercancías.

Comúnmente estas iniciativas están combinadas y son variables para ser compatibles con las políticas locales de planeación del transporte. A continuación se enuncian las principales características señaladas por Taniguchi para cada una de ellas:

Sistemas de información avanzados

En general tienen tres funciones importantes:

- permitir la comunicación entre los conductores y el centro de control,
- proveer información en tiempo real sobre las condiciones de tránsito, y
- almacenar datos históricos detallados de las operaciones de recolección y entrega de los camiones.

Sistemas cooperativos de transporte de carga

Permiten reducir el número de camiones utilizados para recolectar o entregar el mismo número de bienes. Tienen como beneficio para las empresas la disminución conjunta del tiempo de viaje de los camiones, la disminución del personal necesario para llevar a cabo las actividades y la reducción de costos totales.

Terminales logísticas públicas

Ubicadas en áreas alrededor de una ciudad, son útiles para promover la cooperación entre sistemas de transporte de carga. En ocasiones se tienen apoyos gubernamentales para disminuir los costos de transporte que afrontan las empresas y de esta manera fomentar el uso de este tipo de sistemas.

Controles de factores de carga

Controlar las cargas de recolección y entrega es una iniciativa relativamente nueva comparada con las regulaciones convencionales como los límites de peso de los vehículos. En algunas ciudades de Europa se entregan certificaciones a vehículos de transportistas que entre otros requisitos cumplan con:

- factor de carga superior al 60%, y
- edad del vehículo menor a 8 años.

Sistemas subterráneos de transporte de carga

Son soluciones innovadoras para los problemas del transporte de carga, fue implementada en la ciudad japonesa de Tokio y tuvo ciertas ventajas, sobre todo para la disminución de emisiones contaminantes.

Es importante considerar que aún cuando se tienen reconocidas las ventajas y experiencias de la utilización de las iniciativas antes mencionadas, en nuestro país no han sido aplicadas de manera generalizada como en otros países, y las que si se han llevado a cabo no han tenido resultados positivos.

1.4.El caso mexicano

En nuestro país el organismo gubernamental encargado de la elaboración de políticas públicas y regulación del transporte de carga a nivel federal es la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), la cual ha emitido una serie de Normas Oficiales Mexicanas (NOM) por medio de las cuales dicta la normatividad y procedimientos aplicables para el buen desarrollo de la actividad a lo largo de la red de carreteras federales; como ejemplo se puede citar la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2008, *Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal.*

En la NOM antes mencionada, se presenta una clasificación para los vehículos de carga que incluye camiones unitarios (*Tabla 1*), camiones – remolque (*Tabla 2*), tractocamiones articulados (*Tabla 3*) y tractocamiones semirremolque – remolque (*Tabla 4*); teniendo esta última como consideración especial que en las configuraciones T3 – S2 – R2 y T3 – S2 – R4 podrán comprender un semirremolque de tres ejes con eje retráctil.

Aún cuando en el ámbito de las atribuciones de la SCT sólo tiene injerencia en carreteras o vías federales, la clasificación anterior permite tener una visión general del tipo de vehículos utilizados para el transporte de carga interurbano, pudiendo señalar que los vehículos unitarios (C2 y C3) que son los de menor tamaño de la clasificación también son utilizados para llevar a cabo actividades correspondientes a la DUM, siendo en ésta los de mayor tamaño.

En México, existen organizaciones gremiales que agrupan a los autotransportistas de carga; surgen como respuesta de los transportistas para enfrentar de forma organizada la política de desregulación del servicio y evitar la dispersión del sector; hoy en día tienen la función de enlace para la conciliación de intereses entre los transportistas agremiados y las autoridades gubernamentales en el desarrollo e implantación, entre otras, de nuevas políticas y normatividades que afectan su actividad.

Entre las organizaciones más importantes a nivel nacional se encuentran:

- Asociación Nacional de Transporte Privado (ANTP),
- Cámara Nacional del Autotransporte de Carga (CANACAR),
- Confederación Nacional de Transportistas Mexicanos (CONATRAM),
- Asociación Mexicana de Agentes de Carga (AMACARGA), y
- Asociación Mexicana de Transporte y Movilidad (AMTM).



<i>Camión Unitario (C)</i>			
<i>Nomenclatura</i>	<i>Número de ejes</i>	<i>Número de llantas</i>	<i>Configuración del Vehículo</i>
C2	2	6	
C3	3	8 - 10	

Tabla 1 Clasificación de Camiones Unitarios
Fuente: SCT (2008)





Camión - Remolque (C - R)			
<i>Nomenclatura</i>	<i>Número de ejes</i>	<i>Número de llantas</i>	<i>Configuración del Vehículo</i>
C2 - R2	4	14	
C3 - R2	5	18	
C2 - R3	5	18	
C3 - R3	6	22	

Tabla 2 Clasificación de Camiones – Remolque
Fuente: SCT (2008)







Tractocamión Articulado (T - S)			
<i>Nomenclatura</i>	<i>Número de ejes</i>	<i>Número de llantas</i>	<i>Configuración del Vehículo</i>
T2 - S1	3	10	
T2 - S2	4	14	
T2 - S3	5	18	
T3 - S1	4	14	
T3 - S2	5	18	
T3 - S3	6	22	

Tabla 3 Clasificación de Tractocamiones Articulados
Fuente: SCT (2008)


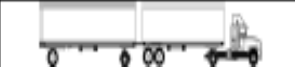


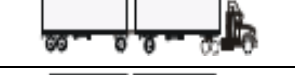






Tractocamión Semirremolque - Remolque (T - S - R)			
Nomenclatura	Número de ejes	Número de llantas	Configuración del Vehículo
T2 - S1 R2	5	18	
T2 - S2 - R2	6	22	
T2 - S1 - R3	6	22	
T3 - S1 - R2	6	22	
T3 - S1 - R3	7	26	
T3 - S2 - R2	7	26	
T3 - S2 - R3	8	30	
T3 - S2 - R4	9	34	
T2 - S2 - S2	6	22	
T3 - S2 - S2	7	26	
T3 - S3 - S2	8	30	

Tabla 4 Clasificación de Tractocamiones Semirremolque – Remolque
Fuente: SCT (2008)

Tipo de Empresa	Estrato de Unidades	Número de Empresas	%	Número de Vehículos	%
Total		132,995	100%	715,683	100%
<i>Hombre - Camión</i>	1 - 5	110,385	83.00%	203,219	28.40%
<i>Pequeña</i>	6 - 30	19,544	14.70%	220,676	30.83%
<i>Mediana</i>	31 - 100	2,373	1.78%	121,583	16.99%
<i>Grande</i>	más de 100	693	0.52%	170,205	23.78%

Tabla 5 Estructura empresarial del autotransporte de carga
Fuente: SCT (2012)

De acuerdo con el reporte de estadística básica del autotransporte de la SCT, para el 2012 en la estructura empresarial del autotransporte de carga dominaba el modelo de hombre – camión con el 83% del total de empresas, seguido por las empresas pequeñas (*Tabla 5*).

1.4.1. Zona Metropolitana del Valle de México

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) está compuesta por las 16 delegaciones del Distrito Federal, 58 municipios del Estado de México y Tizayuca en el Estado de Hidalgo, de los cuales 61 municipios y/o delegaciones tienen un desarrollo humano alto y 14 son de desarrollo humano medio; es la segunda metrópoli más poblada del mundo así como una de las de mayor extensión territorial ya que ocupa 471 mil hectáreas

En el Distrito Federal uno de los organismos encargados de la generación de políticas públicas y regulación del transporte es la Secretaría de Movilidad (SEMOVI), que hasta julio de 2014 fuera conocida como Secretaría de Transportes y Vialidad (SETRAVI), la cual genera su marco normativo a partir de la Ley de Transporte y Vialidad; tiene por objeto regular la prestación de los servicios de transporte de pasajeros y de carga, además de otros ámbitos importantes para el desarrollo de dichas actividades de manera que las necesidades de la población puedan ser satisfechas.

Dentro de esta ley se presenta una clasificación oficial del servicio de transporte de carga, la cual se muestra en la *Figura 2*.

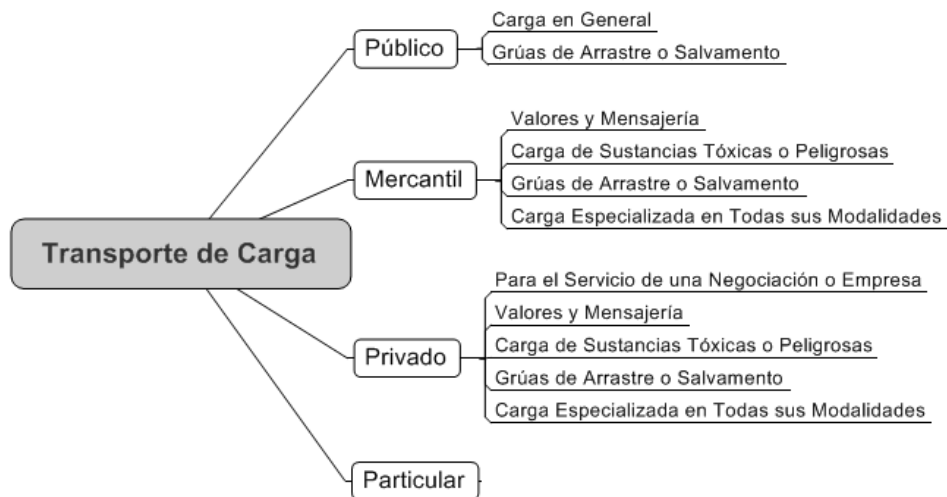


Figura 2 Clasificación del servicio de transporte de carga
 Fuente: Elaboración propia con base en la Ley de Transporte y Vialidad del Distrito Federal

El transporte de mercancías tiene una relevancia particular en la vida de la Ciudad de México debido a que sigue constituyendo el núcleo comercial y de servicios más importante del país; de acuerdo con el Estudio Integral Metropolitano de Transporte de Carga y Medio Ambiente para el Valle de México (EIMTCMAVM)(Lozano et al, 2006), 440,680 vehículos movilizaban carga en la ZMVM, de los cuales el servicio con mayor parque vehicular registrado son el mercantil y privado de carga del Distrito Federal (Ver *Tabla 6*).

Para el 2007, el parque vehicular de carga presentaba una antigüedad de 12 años en promedio, en el servicio público federal el mayor porcentaje de vehículos tenía una antigüedad promedio de 7 años, mientras que para el caso del parque vehicular de servicio público, el promedio era de 29 años (GDF, 2010a).

<i>Entidad</i>	<i>Tipo de Servicio</i>	<i>Número de Vehículos de Carga</i>
<i>Distrito Federal</i>	Servicio Público	16,906
	Servicio Mercantil y Privado	194,149
<i>Estado de México</i>	Servicio Particular	148,365
<i>Federal</i>	Servicio Público Federal	81,260
<i>Total</i>		<i>440,680</i>

Tabla 6 Número de vehículos de carga registrados en la ZMVM
Fuente: Lozano et al., 2006

Dentro de las estadísticas publicadas por SETRAVI, se señala que en promedio el número de viajes de vehículos de carga en horas pico es cercano a los 400, utilizando para su desplazamiento 75 corredores principalmente; en la ZMVM existen 20 zonas comerciales generadoras y atractoras de viajes de distribución de mercancías. El volumen de carga anual movilizada dentro de la ZMVM fue de 393 millones de toneladas, lo que equivale a 24 toneladas por habitante, siendo los vehículos de carga responsables de generar el 24% de las emisiones contaminantes (SETRAVI, 2013a).

El servicio de carga hace uso intensivo de las vialidades e infraestructura pública como consecuencia de la falta de una regulación adecuada y de infraestructura propias, lo que obliga a la realización de maniobras de carga y descarga en la vía pública con su consecuente generación de congestión y contaminación; lo anterior tiene como efecto el incremento de costos y tiempos de transporte además de incrementar los riesgos de accidente para los conductores, peatones y usuarios del transporte de pasajeros (GDF, 2010a).

Tradicionalmente, el transporte urbano de mercancías ha sido un segmento poco atendido por las autoridades locales, tal es el caso que en la Zona Metropolitana del Valle de México sólo se encuentra reglamentado un programa específico para la zona centro del Distrito Federal que abarca el perímetro “A” y que prohíbe la circulación de los vehículos de carga mayores de 3.5 toneladas, en cualquiera de sus modalidades, en el horario comprendido entre las 7:00 y las 22:00 horas (Lyons, 2012), incluyendo en esta restricción al Eje Central Lázaro Cárdenas, en el tramo de Río Churubusco a Río Consulado.

Otro programa que limita la circulación de vehículos de forma no exclusiva para el transporte de carga es el *Hoy no circula*, por medio del cual se busca apoyar el control de emisiones contaminantes originadas por fuentes móviles, teniendo un horario de aplicación de 5:00 a 22:00 horas asignando un día de aplicación determinado en función del número de terminación de la placa de circulación del vehículo y del tipo de engomado asignado en la verificación de emisiones (SEDEMA, 2013b).

Un nuevo programa con el que el gobierno del Distrito Federal pretendía aminorar los problemas generados por el transporte de carga es el denominado *Última Milla*, en cual la SETRAVI buscaba instalar diversos puntos de carga, descarga y distribución de los productos en función de los diversos giros comerciales para que los tráileres, torton, camiones, camionetas y tractocamiones de refrigeración y redilas no circulen por todas las vialidades de la ciudad; a partir de estos puntos se distribuirían las mercancías por medio de unidades más pequeñas y modernas (www.transporte.mx, 2013).

A éste respecto, en el Inventario de Emisiones del Distrito Federal en su versión 2012 se señala que las unidades de más de 3.5 toneladas generan alrededor del 36% de las partículas menores a 10 µm causantes de enfermedades respiratorias crónicas en la población (SEDEMA, 2013a); por lo anterior es que dentro de las restricciones incluidas en el programa, los vehículos de más de 3.5 toneladas iban a poder circular a partir de las 22:00 horas y antes de las 6:00 horas del día siguiente, con lo que se pretendía reducir el consumo de combustibles, la distancia promedio recorrida, la congestión vial y la contaminación (www.transporte.mx, 2013). Desgraciadamente el programa *Última Milla* no ha prosperado y sólo ha quedado como iniciativa.

Para el caso del Estado de México, la dependencia responsable de formular, dirigir, coordinar, ejecutar y supervisar las políticas y programas relacionados con el transporte de carga es la Secretaría de Transporte; finalmente, con la intervención de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes federal y de los

gobiernos del Distrito Federal y del Estado de México se creó la Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad (COMETRAVI) con el objeto de establecer mecanismos para resolver de forma coordinada e integrada los problemas relacionados con el transporte y la vialidad del Área Metropolitana.

Lamentablemente la COMETRAVI tiene tiempo sin funcionar pese a la gran necesidad de coordinación para la solución de los numerosos conflictos relacionados con el transporte.

2. EL CENTRO DE COYOACÁN

En este capítulo se presentan algunos antecedentes y datos de interés de la Delegación Coyoacán, desde aspectos históricos, culturales, turísticos, económicos, políticos, etc. que servirán como marco introductorio de la zona de estudio del presente trabajo.

Entre las condiciones descritas en el presente capítulo se encuentran las relacionadas con las vialidades, el tránsito y la distribución de mercancías en la zona, en donde compiten por la utilización del espacio público el transporte público de pasajeros, el de mercancías y los vehículos particulares.

2.1.Descripción del entorno delegacional

La delegación Coyoacán se ubica en la zona centro – sur de la Ciudad de México en las coordenadas 19° 22' al Norte, al sur 19° 18' de latitud Norte; al este 99° 06' y al oeste 99° 12' de longitud oeste. Su superficie es de 5,400 hectáreas, correspondiente a suelo urbano en su totalidad y que representa el 3.60% del área total del Distrito Federal. La altitud promedio de la demarcación es de 2,240 msnm.

Su origen se remonta al año de 1332, debido al asentamiento de varios núcleos de población, entre los que destacan los de Copilco, Los Reyes y Xotepingo, que se agrupaban en torno a Coyohuacán “lugar de quienes tienen o veneran coyotes”; en su etapa prehispánica se desarrolló a lo largo del camino que corría de Churubusco a Chimalistac. En 1521 Hernán Cortés estableció en este lugar su cuartel general, donde además fundó el primer ayuntamiento de la cuenca de México en tanto se reconstruía Tenochtitlán (GDF, 2010b).

El cambio social, geográfico y cultural se profundiza cuando en 1890 fue inaugurada por el General Porfirio Díaz la Colonia del Carmen que representaba la modernidad de su tiempo y cuyo nombre se establece en honor de su esposa (SECTURDF, 2013).

Fue en la década de 1920 que se convirtió en zona de quintas y casas de fin de semana para las clases acomodadas de la Ciudad de México; al principio de los años 40's dio inicio un desarrollo urbano acelerado, comenzando en la zona Norte de la delegación para posteriormente continuar hacia la zona de El Pedregal. Hacia 1958 se construyó la Ciudad Universitaria y es desde entonces que con el paso de los años, el papel

de la delegación se ha transformado de una función meramente habitacional a una función mezclada de habitación, servicios y comercio (GDF, 2010b).

2.2.Descripción de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra delimitada por las avenidas División del Norte (al este), Circuito Interior Río Churubusco (al Norte), Universidad (al oeste) y Miguel Ángel de Quevedo (al sur); enclavado dentro del territorio de la Delegación Coyoacán (*Figura 3*).



Figura 3 Delimitación del área de estudio
Fuente: Elaboración propia

Comprende seis colonias (*Figura 4*) dentro de las cuales se encuentra el área conocida como Centro Histórico de Coyoacán y sus alrededores; cuenta con una gran riqueza cultural e histórica, además de una importante gama de servicios entre los que se encuentran atractivos inmuebles históricos, religiosos, artísticos y culturales, bellas plazas, jardines y una importante zona comercial; además cuenta con una cantidad importante de oficinas de gobierno y otros servicios.



Figura 4 Mapa de las colonias dentro del área de estudio
Fuente: Elaboración propia

Entre sus atractivos más emblemáticos destacan:

- Viveros de Coyoacán
- Calle Francisco Sosa
- Casa de Cortés
- Jardín Hidalgo
- Jardín Centenario
- Parroquia y ex convento de San Juan Bautista
- Museo Nacional de Culturas Populares
- Plaza y Capilla de la Conchita
- Parque Frida Kahlo
- Bazar artesanal mexicano
- Museo Frida Kahlo
- Museo Casa de León Trotsky

El 5 de octubre de 1934 se decreta el área centro de Coyoacán como zona típica y tradicional, para posteriormente ser declarado, el centro histórico de Coyoacán, en 1990 por la UNESCO como Zona de Monumentos Históricos (SECTURDF, 2013).

2.2.1. Uso de suelo

El uso de suelo determina el tipo de actividades que se pueden realizar en los predios o en los inmuebles, a todos y cada uno de ellos en la ciudad les corresponde una zonificación la cual se encuentra definida en los planos respectivos del Programa Delegacional de Desarrollo Urbano, el cual es un instrumento cuya función es orientar el desarrollo urbano y el ordenamiento territorial; la zonificación es la serie de características jurídico-administrativas con las que debe contar una zona, es decir, se compone por la mezcla de usos preferentemente compatibles.

De acuerdo con las características y uso para el que está destinado el territorio y conforme a la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, el uso de suelo de la Ciudad de México se divide de forma primaria en dos zonificaciones generales que son Suelo Urbano y Suelo de Conservación (GDF, 2003).

El Suelo Urbano tiene como característica un alto grado de saturación demográfica, salvo las áreas destinadas a parques y espacios abiertos; por su parte, el Suelo de Conservación alberga las mayores masas forestales de la entidad, una riqueza biológica importante y es donde ocurre una mayor infiltración de agua hacia los acuíferos (GDF, 2003).

En el caso de la zona de estudio, los Usos de Suelo (*Figura 5*) se encuentran definidos dentro del Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Coyoacán (PDDU – Coyoacán del 2010), en el cual es denominada como Zona Histórica y es donde se concentra un gran porcentaje del patrimonio cultural; en ella coexisten usos habitacionales residenciales, equipamiento educativo, cultural, recreativo y de salud que funcionan como nodos que ejercen una fuerte atracción de población.

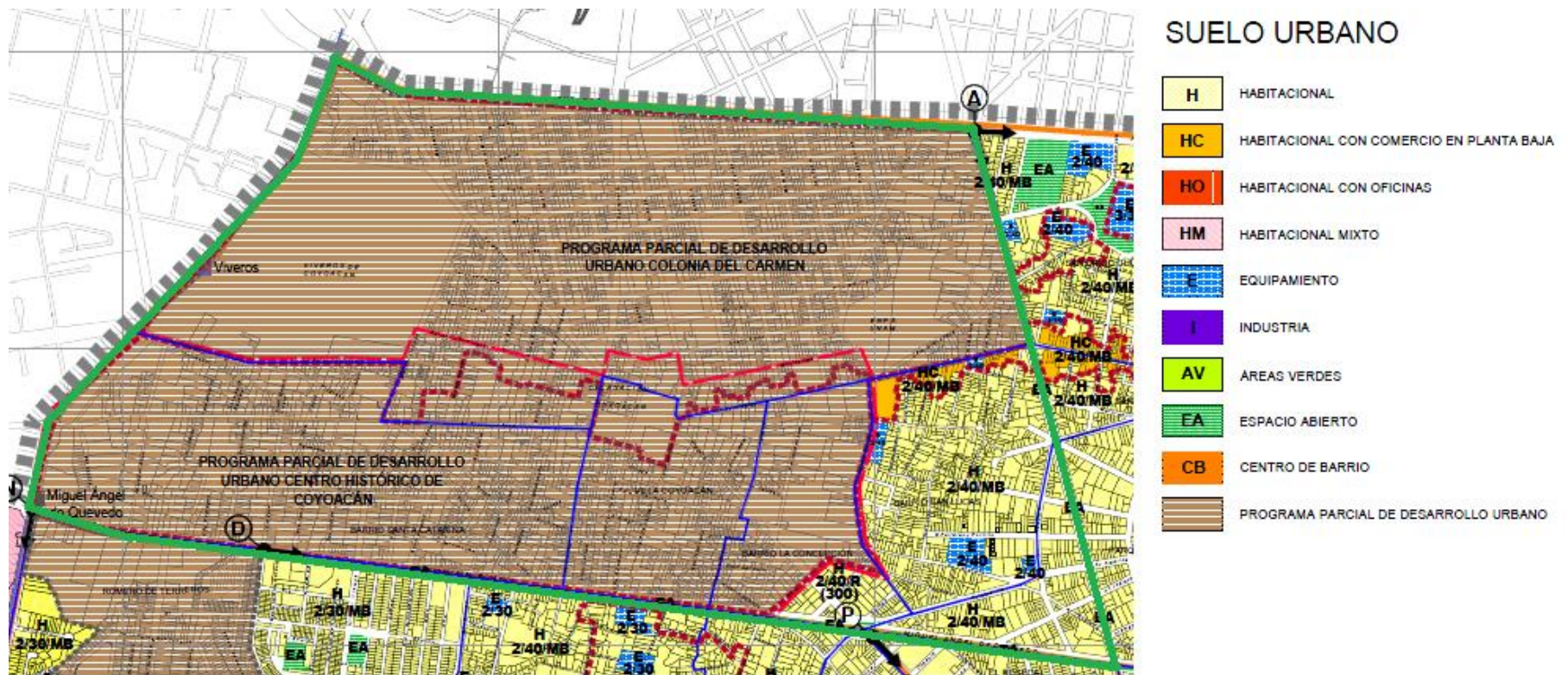


Figura 5 Uso de suelo en la zona de estudio
Fuente: SEDUVI, 2010



Figura 6 Uso de Suelo Colonia del Carmen
Fuente: SEDUVI, 1994

Dentro del área de estudio se ubican dos zonas importantes que en el mapa delegacional no presentan un uso de suelo específico y cuya reglamentación se encuentra contenida en los planes parciales de desarrollo urbano debido a que se presentan características particulares en cada una de ellas.

Para la Colonia del Carmen (*Figura 6*) y el Centro Histórico de Coyoacán (en proceso de publicación), los usos de suelo van encaminados a tener un mayor control para la conservación y preservación por ser en su conjunto una de las zonas históricas más importantes dentro de la Ciudad de México, de origen colonial, y formar parte del patrimonio nacional mejor conservado.

Con el nivel de desarrollo alcanzado y el proceso de transformación económica, política y social actual, el Centro de Coyoacán presenta un crecimiento económico significativo en el sector servicios, destacando los relacionados con la cultura, la recreación y el turismo; lo que ha desplazado paulatinamente al Uso de Suelo habitacional por el comercial, de servicios y usos mixtos.

2.2.2. Demanda de bienes y servicios

Al ser una zona en constante cambio, el consumo de productos de diversa índole se hace cada vez más importante. Por una parte, al presentar un carácter habitacional, los residentes de la zona requieren insumos que les permitan cubrir desde sus necesidades básicas hasta otras más específicas.

Por otra parte, al incrementarse su actividad comercial y de servicios, principalmente orientada hacia la cultura y la recreación, los insumos requeridos son cada vez más específicos de acuerdo con el sector y la actividad a los que van enfocados. Desde artesanías y productos para manualidades hasta perecederos, alimentos y bebidas, que son utilizados para el consumo de turistas y visitantes en general.

Para el caso de los visitantes que gustan de la vida nocturna, principalmente adultos jóvenes, se requieren bebidas carbonatadas, vinos, licores y cerveza, que son consumidos en su mayoría dentro de establecimientos ubicados en los alrededores del jardín Hidalgo.

2.2.3. Vialidades

Se entiende por vía al espacio físico destinado al tránsito de vehículos y personas y por vialidad al conjunto integrado de vías de uso común que conforman la traza urbana de la ciudad cuya función es facilitar el tránsito eficiente y seguro de personas y vehículos (SETRAVI, 2013b).

De acuerdo con SEMOVI (SETRAVI, 2013b), existen cinco tipos de vías a considerar:

- **Vías de Acceso Controlado:** satisfacen los requerimientos de movilidad continua de grandes volúmenes de tránsito vehicular, cuentan con accesos y salidas a los carriles centrales en los lugares de mayor demanda y en puntos de enlace con vialidades importantes, cuentan con distribuidores viales o pasos a desnivel; consideradas como columna vertebral de la red vial.
- **Vías Primarias:** Su función es facilitar el flujo del tránsito vehicular continuo o controlado por semáforos entre distintas zonas de la Ciudad de México, con la posibilidad de contar con carriles reservados exclusivos para vehículos de emergencia.
- **Vías Principales:** aquellas que por sus características geométricas y capacidad para mover grandes volúmenes de tránsito, enlazan y articulan gran cantidad de viajes – persona – día. Complementan la estructura de la red vial primaria y se caracterizan por su continuidad y sección transversal constante; varían en su trazo y condiciones de operación de acuerdo a la zona geográfica en que se ubiquen.
- **Vías Secundarias:** su función es facultar el flujo de tránsito vehicular no continuo, generalmente controlado por semáforos entre distintas zonas de la ciudad.
- **Vías Terciarias o Locales:** Son no continuas y facilitan la movilidad dentro de las zonas habitacionales o predios particulares y su estructura no está diseñada para recibir tránsito intenso o pesado.

Para el caso de la zona de estudio, el PDDU – Coyoacán (2010) contempla al Circuito Interior Río Churubusco como una vía de acceso controlado y a las avenidas División del Norte, Miguel Ángel de Quevedo y Universidad como vías primarias, las cuales tienen conexión con vías secundarias o locales (Figura 7).

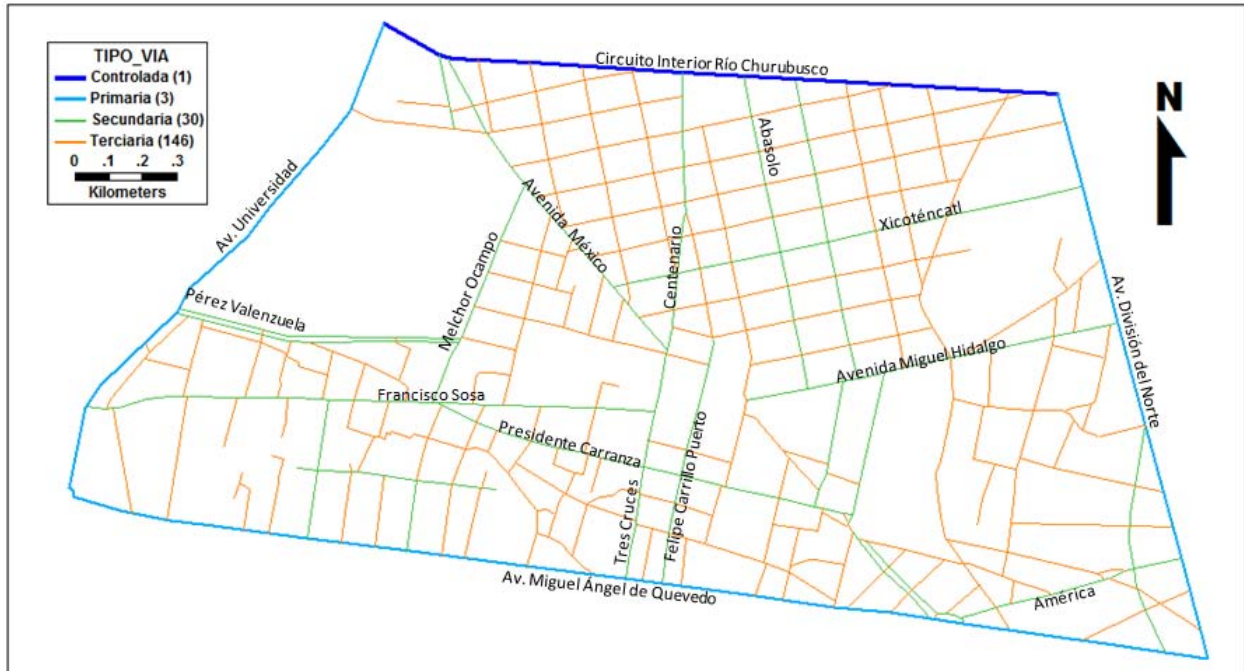


Figura 7 Distribución de tipos de vialidades en la zona de estudio
Fuente: Elaboración propia

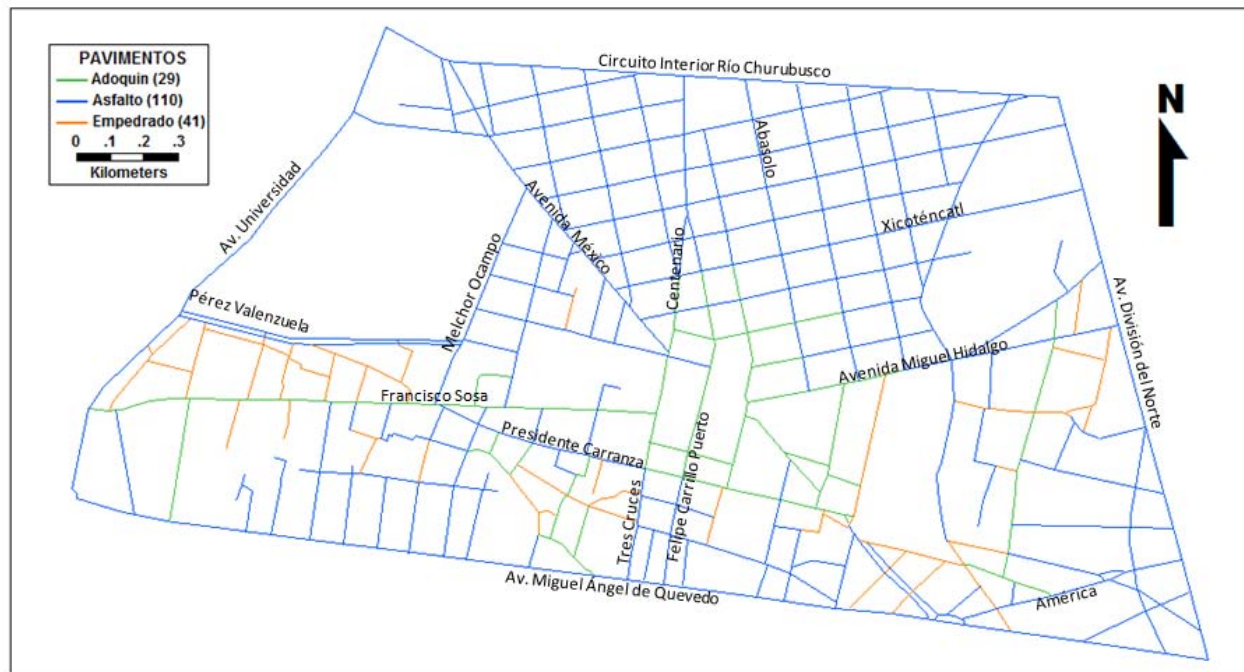


Figura 8 Distribución de los tipos de pavimentos
Fuente: Elaboración propia

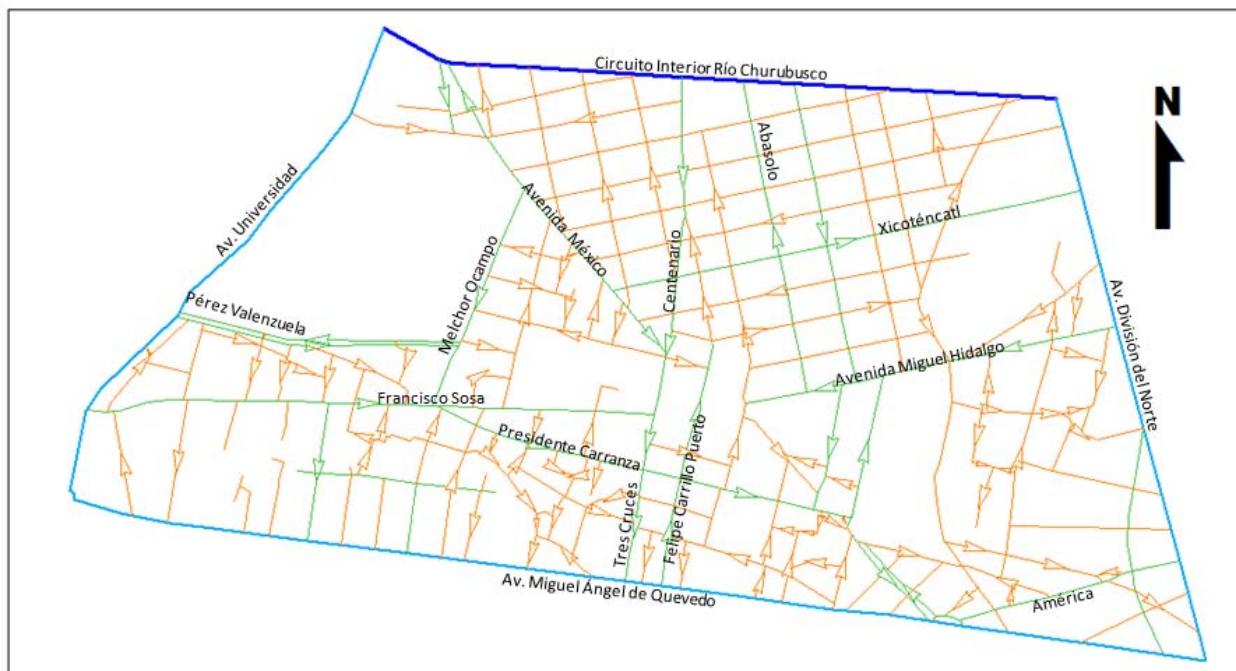


Figura 9 Sentido de la circulación en las vialidades
Fuente: Elaboración propia

Los tres tipos de pavimento presentes en las vialidades (Figura 8) son: adoquín/adocreto, asfalto y empedrado. Otro de los aspectos importantes a considerar es el sentido de circulación dentro de la red (Figura 9).

2.3. Problemática del Centro Histórico de Coyoacán y Alrededores

Dentro de la zona de estudio se puede observar la conjunción de diferentes etapas históricas en la evolución de la ciudad. En primera instancia la zona conocida como Centro Histórico de Coyoacán la cual, como ya se mencionó, tiene su origen en la época de la colonia, contemplaba vialidades óptimas para los modos de transporte de la época, es decir, equinos y carruajes (por ejemplo Francisco Sosa y Tres Cruces), por lo que se encuentra limitada para los modos actuales; en el resto de la zona de estudio, cuyo desarrollo inicia hacia el final del siglo XIX y principio del siglo XX, se observan vialidades más acordes a los requerimientos de los modos de hoy en día (Xicoténcatl y Av. Progreso, por citar algunas), sin embargo, ante factores como el incremento poblacional, su capacidad se ve rebasada en determinados horarios siendo los periodos más conflictivos los viernes por la tarde, sábados y domingos. La saturación vehicular

en la red vial presente en horas pico o de máxima demanda se ve reflejada esencialmente en crucesos conflictivos (*Figura 10*).



Figura 10 Congestión en vialidades.
Tomada en Miguel Hidalgo. Foto: R. Mota

Existen flujos de entrada y salida en las cuatro direcciones aún cuando hacia el Norte se encuentra el acceso al Circuito Interior Río Churubusco que es una vialidad controlada, lo que obliga a incorporarse a ella hasta Avenida Universidad o bien por Avenida División del Norte (GDF, 2010b).

La falta de estacionamientos es un problema que se presenta de forma generalizada en la Ciudad de México, en el Centro de Coyoacán el problema es más que evidente debido a la transición en el uso de suelo de habitacional a comercial y de servicios, la existencia de escuelas, hospitales, oficinas de gobierno, etc., lo que ha incrementado significativamente la demanda de los mismos sobre todo los fines de semana y días festivos (*Figura 11*).



Figura 11 Alta demanda de cajones de estacionamiento.
Tomada en Xicoténcatl. Foto: R. Mota

La demanda de cajones de estacionamiento se estima en más de 2,100 lugares; en la zona existen cinco estacionamientos públicos y cabe resaltar que de acuerdo con la normatividad de los Programas Parciales de Desarrollo Urbano del Centro Histórico de Coyoacán y de la Colonia del Carmen no se tiene prevista la autorización para la construcción de nueva infraestructura de este tipo (GDF, 2010b).

Para los residentes de la zona esta situación afecta en su calidad de vida, sobre todo frente a la imprudencia de algunos visitantes, que no respetan los señalamientos, límites de velocidad y las entradas a los domicilios por tanto, en algunos casos han optado por llevar a cabo algunas acciones (*Figura 12*) para procurar la disminución de inconvenientes.



**Figura 12 Acciones contra la invasión de entradas a los domicilios.
Tomada en Cuauhtémoc. Foto: R. Mota**

La situación anterior ha generado la proliferación de individuos conocidos como “franeleros” que son personas que se encargan de cuidar los vehículos estacionados sobre la vía pública a cambio de una compensación económica en ocasiones de carácter voluntario; a pesar de la presencia de estos individuos, también se ha hecho presente el fenómeno de robo de autopartes y de vehículos, acentuándose en horario nocturno.

Otra de las problemáticas presentes es el referente al transporte público concesionado (microbuses y taxis), los primeros cruzan la zona de estudio realizando paradas para ascenso y descenso de pasaje en casi cualquier punto dentro de su recorrido e incluso ocupando la vialidad como paradero; los segundos tienen acceso a casi cualquier punto dentro de la zona sin embargo también llevan a cabo el ascenso y

descenso de pasajeros de forma indiscriminada sin la más mínima conciencia de los problemas de congestión que provocan.

2.4. Problemas para la distribución de mercancías

Los problemas de congestión y falta de cajones de estacionamiento no son ajenos para las diversas empresas que tienen que distribuir sus productos en la zona, sobre todo al no existir espacios específicos para la carga y descarga de mercancías. Algunos de ellos se ven menos afectados debido a la política de entrega en la cual tienen la consigna de llegar a primera hora de la mañana para garantizar el pago oportuno de los productos (*Figura 13*), esto principalmente aplica para establecimientos como misceláneas, estanquillos y cafeterías.



Figura 13 Entrega de productos a primera hora de la mañana.
Tomada en Abasolo esquina Xicoténcatl. Foto: R. Mota

En este horario se presentan algunos problemas de congestión en las vialidades en días laborales debido a que son ocupadas como paso para acceder a otras zonas de la ciudad, además de las actividades escolares, administrativas y de otros servicios que se desarrollan en la zona.

Algunas empresas realizan entregas al medio día o por la tarde dependiendo del acuerdo al que hayan llegado con el cliente, en cuyo caso se tiene el problema de la congestión vehicular propia de las actividades de la zona, además de que en ocasiones inicia la competencia por el uso de los espacios disponibles de estacionamiento (*Figura 14*) entre proveedores y visitantes, lo que dificulta las actividades de distribución de mercancías e incrementa el problema de estacionamiento de la zona.



Figura 14 Competencia por la utilización de espacios de estacionamiento en las actividades de reparto.
Tomada en Malitzin esquina Ignacio Allende. Foto: R. Mota

Ante las condiciones de escasez de estacionamiento antes mencionado, algunos operadores toman la determinación de estacionarse, aún cuando no esté permitido (*Figura 15*), en lugares cercanos a los puntos de distribución para llevar a cabo las labores propias del reparto de sus productos. Como consecuencia de esto, los problemas de congestión se incrementan en determinados horarios y puntos conflictivos.



Figura 15 Condiciones de entrega ante la falta de espacios adecuados.
Tomada en Avenida Miguel Hidalgo. Foto: R. Mota

Aún cuando su actividad no es la distribución, los servicios de recolección de desechos también forman parte importante de las actividades de la zona (*Figura 16*), habitualmente se llevan a cabo a primera hora de la mañana y están sujetos a las mismas condiciones en las vialidades que los vehículos de reparto de mercancías.



**Figura 16 Servicio de recolección de residuos urbanos.
Tomada en Cuauhtémoc. Foto: R. Mota**

3. EL PRODUCTO, ELABORACIÓN Y DISTRIBUCIÓN

La cerveza es una bebida altamente popular, la cual cuenta con una gran difusión y consumo entre los jóvenes; en nuestro país, a lo largo de los años fue desplazando a otra bebida tradicional como lo es el pulque para consolidarse en el gusto de los consumidores, lo que ha generado un gran impacto en la economía del país al convertirse en un productor importante a nivel mundial.

En el presente capítulo se mencionan algunas características del producto, su proceso de elaboración y distribución desde que se almacena en la planta hasta que llega a los puntos de venta o consumo final.

3.1. Características del producto

La denominación de cerveza se da a toda bebida, generalmente alcohólica, no destilada, cuya fabricación se lleva a cabo a partir de granos de cebada u otros cereales, cuyo contenido de almidón se modifica para ser fermentado en agua y aromatizado principalmente con lúpulo. Su color puede variar desde el negro hasta el dorado pálido; con un aspecto cristalino o turbio y con un volumen de alcohol que tradicionalmente fluctúa entre el 3% y 9% aunque puede alcanzar hasta el 30% (INDUCERV S.A.S., 2009).

3.1.1. Legislación

En algunos países existen una serie de normativas que regulan la producción y especificaciones de la cerveza para poder ser denominada como tal. Para ilustrarlo, a continuación se citan algunos ejemplos.

La legislación colombiana en su decreto 761 de 1993 señala que la cerveza es una bebida obtenida como producto de la fermentación alcohólica de un mosto elaborado con cebada germinada (malta) y otros cereales o azúcares a los que se les adiciona lúpulo o extracto natural de éste, levaduras y agua potable, teniendo una graduación alcohólica entre 2.5 y 12 grados alcoholimétricos (G.A.); en caso de una graduación menor se denominará cerveza sin alcohol, siendo clasificadas como alimento (INDUCERV S.A.S., 2009).

De manera similar, la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense indica que es una bebida resultante de la fermentación alcohólica controlada haciendo uso de levadura cervecera, un mosto elaborado con agua

potable, malta y/o sus extractos sola o mezclada con azúcar y/u otros productos amiláceos, adicionado de lúpulo y/o sus extractos y concentrados. La adición de otros granos y azúcar es facultativa (CNNTyC, 2007).

No existe una Norma Oficial Mexicana específica para cerveza que dicte los ingredientes, cantidades, composición, etc. por lo que una que incorpora maíz u otro grano tiene la misma legitimidad para nombrarse cerveza como cualquier otra hecha de pura malta de cebada. Sin embargo, de acuerdo con la normatividad mexicana, para denominar como alcohólica a una bebida debe tener un contenido de alcohol de al menos 2% en volumen. Por definición de la norma NMX-V-046-NORMEX-2009 Bebidas Alcohólicas – Denominación, Clasificación, Definición y Terminología, en una cerveza el contenido de alcohol no debe ser mayor al 6% en volumen (PROFECO, 2011).

En la Unión Europea no existe un marco normativo que incorpore a todos los estados miembros, además de que sus definiciones de cerveza tampoco indican un máximo en el contenido de alcohol en el producto final, salvo en los casos en los que se hace referencia al nivel de alcohol máximo permitido para la denominación de cerveza sin alcohol, el cual debe ser menor de manera general a 1.2% del volumen (PROFECO, 2011).

3.1.2. Participación en la economía

En el mercado hay una gran diversidad de productos para cubrir la demanda de los consumidores de acuerdo a sus gustos; a este respecto en nuestro país en los últimos años ha existido una mayor apertura a los diversos estilos y sabores además de que las principales compañías cerveceras (Grupo Modelo y Cuauhtémoc – Moctezuma) se han fusionado con empresas multinacionales que ofrecen en nuestro país sus productos, al tiempo que surgen pequeñas cerveceras de tipo artesanal para un mercado diverso (PROFECO, 2011).

La Cámara Nacional de la Industria de la Cerveza y de la Malta (CANICERM, 2013) señala que la preferencia por el consumo de la cerveza mexicana se traduce en una importante contribución a la economía, al aportar por parte de esta industria, aproximadamente 20,000 millones de dólares derivados de las ventas de sus productos y actividades empresariales directamente vinculadas; lo que representa cerca del 2% del valor que genera la industria manufacturera mexicana y que equivale al 0.3% del Producto Interno Bruto nacional.

3.1.3. Panorama de la producción

The Barth-Haas Group, quien es el mayor proveedor de lúpulo a nivel mundial, desde 1877 publica un informe anual; en su versión de 2012 señala que la producción mundial fue de 1,951.281 millones de hectolitros y que de ésta el 91.5% se concentra en 40 países (*Tabla 7*). La producción de México se encuentra en el sexto lugar mundial con un estimado de 82.5 millones de hectolitros, un millón más que en 2011.

	<i>País</i>	<i>Producción anual de cerveza (millones de hectolitros)</i>			
		<i>2000</i>	<i>2010</i>	<i>2011</i>	<i>2012</i>
1	China	220.000	448.304	489.880	490.200
2	Estados Unidos	232.500	228.982	226.480	229.314
3	Brasil	82.600	128.700	133.000	132.800
4	Rusia	54.900	102.930	98.140	97.400
5	Alemania	110.429	95.683	95.545	94.618
6	México	57.812	79.889	81.500	*82.500
7	Japón	70.998	58.100	56.000	55.465
8	Reino Unido	55.279	44.997	45.694	42.049
9	Polonia	24.000	36.000	36.000	37.800
10	España	26.400	33.375	33.573	33.000
11	Sudáfrica	24.500	29.600	30.870	31.500
12	Ucrania	10.270	31.000	30.510	30.050
13	Vietnam	7.430	26.500	27.800	29.800
14	Holanda	25.072	23.936	23.647	24.272
15	Nigeria	6.300	17.600	19.596	*24.000

Tabla 7 Producción anual de cerveza

Fuente: Modificada de The Barth Report Market Leaders 2012 (The Barth-Hass Group, 2012)

El mismo informe señala que el consumo de cerveza per cápita anual en México fue de 60 litros, mientras que el principal consumidor es la República Checa con 144 litros, seguida por Austria y Alemania con 108 litros; en Estados Unidos fue de 75 litros al igual que en Venezuela, en España fue de 48 litros, en Reino Unido fue de 73 litros, Australia con 82 litros, por mencionar algunos (The Barth-Hass Group, 2012).

3.2. Proceso de elaboración

Tan variadas son las marcas como sus procesos específicos de elaboración, por lo que la selección de una cerveza en específico es cuestión de gustos y de disponibilidad. De manera general se podría mencionar que la fórmula básica de la cerveza incluye malta, agua, lúpulo y levadura, quedando al criterio de cada fabricante la adición de otros elementos de acuerdo a sus recetas individuales.

Grupo Modelo (2013) señala una serie de materias primas que intervienen en su proceso de producción; de la misma manera muestra de forma muy general el proceso de elaboración de la cerveza, lo cual se enuncia a continuación.

3.2.1. Materias primas empleadas

Se enlistan las materias primas que en general son utilizadas para la elaboración de cerveza, así como algunas de sus características más significativas (ver Tabla 8).

Materia Prima	Características
<i>Malta</i>	Obtenida de la cebada mediante el proceso conocido como "malteo", consiste en la germinación del grano bajo condiciones de humedad y temperatura controladas para posteriormente ser secado, lo que le da las características que impactarán en el sabor y color de la cerveza.
<i>Agua</i>	Su calidad es de vital importancia, constituye entre 90% y 96% de la cerveza. En algunos casos es extraída de pozos profundos y debe ser apropiada para consumo humano además de contener ciertos minerales que favorezcan algunas de las reacciones del proceso de elaboración.
<i>Lúpulo</i>	Planta trepadora tipo enredadera que se cosecha en zonas frías. Se utiliza únicamente la flor femenina ya que contiene las sustancias que entre otras cosas imparten el amargor a la cerveza.
<i>Levadura</i>	Organismos unicelulares que en el proceso de fermentación transforman los azúcares del mosto en alcohol, gas carbónico y otros productos secundarios que de forma conjunta dan las características a cada tipo de cerveza.
<i>Adjuntos</i>	Se le llama de esta forma a cereales cuyas propiedades complementan a la malta y ayudan a la brillantez y estabilidad coloidal de la cerveza. Por lo general se utiliza harina de maíz o arroz.

Tabla 8 Materias primas para la elaboración de Cerveza
Fuente: Grupo Modelo, (2013)

Una vez conocidas las materias primas, se da paso a la descripción del proceso, el cual se presenta a continuación:

3.2.2. Primera etapa

Esta primera etapa comprende los siguientes procesos:

- **Molienda de Malta:** la malta es triturada para obtener los compuestos de su interior. Es importante conservar la integridad de la cascarilla para evitar la extracción de sustancias que pueden resultar indeseables en el proceso.
- **Maceración:** consiste en la mezcla de malta molida y adjuntos con agua a temperatura y tiempos específicos. Permite que las enzimas presentes en la malta transformen los almidones en azúcares. De la mezcla se obtiene un líquido dulce de color ámbar que contiene azúcares, proteínas, vitaminas y minerales, conocido como mosto.

3.2.3. Segunda etapa

Esta segunda etapa comprende los siguientes procesos:

- **Filtración de mosto:** Una vez que se obtuvo el mosto en el macerador es necesario retirarle la cascarilla mediante el uso de filtros especialmente diseñados para la operación.
- **Ebullición de mosto:** Se logra la ebullición del mosto en la olla de cocción mediante un sistema de calentamiento a base de vapor. Se adiciona el lúpulo que otorgará el amargor característico a la cerveza. Esta etapa influye de forma definitiva en la estabilidad del sabor de la cerveza.
- **Separación de trub:** al finalizar la ebullición es necesario llevar a cabo la separación del trub a fin de evitar turbidez en el producto final. El trub es una masa de partículas de proteína coagulada. El proceso se realiza en un tanque con mosto caliente. Al ingresar de forma tangencial se logra que el líquido gire y las partículas se sedimenten en el centro del recipiente.

3.2.4. Tercera etapa

Esta tercera etapa comprende los siguientes procesos:

- **Enfriamiento de mosto:** se lleva a cabo con un enfriador provisto de unas placas de acero inoxidable con canales. El mosto una vez clarificado debe enfriarse para poder inyectarle la levadura que transformará el mosto en cerveza.
- **Fermentación:** es llevada a cabo por las levaduras para transformar el mosto en cerveza. Este organismo unicelular se alimenta de los azúcares, aminoácidos y minerales contenidos en el mosto. Los subproductos principales de su metabolismo son alcohol y CO₂. Una vez consumidos los nutrientes, las levaduras se agrupan y sedimentan para posteriormente separarse de la cerveza. La temperatura de fermentación es un factor importante para el aroma y sabor de la cerveza.
- **Maduración de la cerveza:** durante este proceso se adquiere el sabor definitivo del producto y se lleva a cabo a bajas temperaturas. Después de algunas semanas de reposo se logra la maduración del sabor tras lo cual la cerveza está lista para la última etapa del proceso.

3.2.5. Cuarta etapa

Esta cuarta etapa comprende los siguientes procesos:

- **Filtración de cerveza:** una vez terminada la maduración se debe filtrar, con lo que la cerveza adquiere la brillantez adecuada para envasarse.
- **Envasado:** Una vez filtrada se puede envasar (*Figura 17*), en donde se debe llevar a cabo el
 - Desempacado y lavado de la botella.
 - Llenado y coronado.
 - Pasteurización.
 - Etiquetado.
 - Empacado.
 - Almacenado y embarque.



Figura 17 Línea de envasado
Fuente: CUAMOC, (2013)

3.2.6. Variedades

De acuerdo con la información presentada por Grupo Modelo (2013), en el mundo se comercializan diversos tipos de cerveza que pueden ser agrupados en tres categorías principales, dependiendo del proceso de fermentación y del tipo de levaduras que utilizan; teniendo lo siguiente:

- **Fermentación baja o Lager:** de naturaleza refrescante, en general son cervezas claras, aun cuando hay algunas oscuras, con un marcado sabor a lúpulo; utilizan levaduras que actúan a baja temperatura (de 6° a 10°C) las cuales al finalizar la fermentación se depositan en el fondo del tanque fermentador. Son las de mayor consumo a nivel mundial (ver *Tabla 9*).
- **Fermentación alta o Ale:** de sabor afrutado proveniente de una rápida fermentación a altas temperaturas (de 14° a 20°C), utilizan levaduras que una vez que han consumido todos los azúcares flocculan en la superficie de la cerveza; este procedimiento define de forma característica a este tipo de cervezas. Su color y fuerza varían según el tipo (ver *Tabla 10*).
- **Fermentación espontánea o Lambic:** tipo inusual elaborado en Bélgica que tiene un amplio espectro de sabor; principalmente se produce en pequeñas cervecerías. En su elaboración se emplea una mezcla de malta de cebada con trigo sin maltear, no se emplea levadura añadida debido a que la recibe por contacto con el aire de manera natural, lo que da lugar a una fermentación espontánea semejante a la del vino; tiene un sabor ácido y sin amargor debido al lúpulo utilizado. De este tipo destacan las variedades conocidas como Geuze, Faro y las de fruta como Kriek y Framboise.

Tipo	Características	Contenido de alcohol (Volumen)
<i>Pilsner</i>	Dorada, clara y ligera, es la cerveza por excelencia. Se diferencia entre sus distintos tipos por su contenido de alcohol. Contiene aproximadamente 45 Kcal cada 100 ml.	4% - 5%
<i>Vienna</i>	De color café rojizo, tiene un cuerpo medio a ligero y amargor de lúpulo moderado.	No disponible
<i>Munich Dunkel</i>	Cuerpo intermedio a robusto, presenta sabores a chocolate, malta tostada y nuez. Colores que van de cobre profundo a café oscuro.	4.5% - 5.6%
<i>Bock</i>	Carácter robusto y malteado con un tinte ámbar oscuro que la hace más fuerte que las otras. Su contenido de alcohol es variable según la variedad.	6% - 7.5% o superior
<i>American Lager</i>	Ligera y de textura burbujeante, con un moderado sabor a malta y un toque de lúpulo.	4.2% - 5.1%
<i>Light</i>	Ligera, con un contenido calórico 25% a 30% menor que la regular.	3.2% - 4.2%

Tabla 9 Tipos de cerveza con fermentación baja o Lager
Fuente: Grupo Modelo, (2013)

Tipo	Características	Contenido de alcohol (Volumen)
<i>Wheat Beer</i>	Refrescante, afrutada, algo turbia y de color pálido. Elaborada con mezcla de malta y trigo malteado en proporción de 30% a 50%. Bajo contenido alcohólico.	3% - 3.8%
<i>Stout</i>	Negra de fermentación alta. Presenta diversos contenidos de alcohol según variedad.	4% - 12%
<i>Scottish Ale</i>	Marcado sabor a malta. Se clasifican en función del extracto original y del grado alcohólico. Se identifica por ser cervezas muy fuertes, oscuras y de sabor acentuado a malta.	2.5% - superior
<i>Porter</i>	Oscura, de importancia en Inglaterra. Sabor a malta oscura, dulzura delicada y carácter de chocolate especiado.	4% - 6%
<i>Pale Ale</i>	Variedades afrutadas y color cobrizo. Balance de maltas y lúpulos. Caracterizada por uso de variedades americanas de lúpulo.	No disponible
<i>Kolsch</i>	Malteado leve, aroma suave a lúpulo y sabor limpio pero afrutado. Puede ser producida con trigo y reposo prolongado.	4.6% - 5.1%
<i>Brown Ale</i>	Oscuras y dulces. Aroma y amargor del lúpulo más pronunciados.	Mayor a 6%
<i>Bitter</i>	Ligera. Nivel de amargor de lúpulo de moderado a fuerte.	4% - 5.5%
<i>Belgian Ale</i>	Producidas en Bélgica con amplio rango de sabores afrutados. Fermentadas con levadura especial. Muy fuertes.	6.2% - 11.3%

Tabla 10 Tipos de cerveza con fermentación alta o Ale
Fuente: Grupo Modelo, (2013)

La cerveza sin alcohol no alcanza el 1% de contenido alcohólico, lo cual es un dato importante debido a que de acuerdo con la norma mexicana anteriormente mencionada, al haberseles extraído la mayor parte de alcohol, en México no podrían denominarse cerveza, independientemente de que sean productos provenientes de la fermentación de los granos (PROFECO, 2011)

3.2.7. Principales Marcas

Uno de los grupos cerveceros más grandes del país es Grupo Modelo, el cual se fusionó con la compañía AB – InBev, tiene presencia en el mercado nacional y en más de 180 países, entre sus marcas se encuentran Barrilito, Corona Extra, Corona Light, Estrella, León, Modelo Especial, Modelo Light, Montejo, Negra Modelo, Pacífico, pacífico Light, Tropical Light y Victoria (Grupo Modelo, 2013).

Otro grupo importante es Cuauhtémoc – Moctezuma, el cual se fusionó con Heineken, entre sus marcas se encuentran Dos Equis, Coors Light, Bohemia, Noche Buena, Tecate, Indio, Carta Blanca, Superior, Sol, Kloster y Heineken (CUAMOC, 2013).

En el mercado mexicano existen otras marcas que son importaciones provenientes de países como Alemania, Austria, Reino Unido, China, etc. y que por lo general son comercializadas por las mismas empresas cerveceras sin embargo los precios en ocasiones son significativamente superiores a los productos nacionales.

3.3. Transporte y Distribución

Una parte importante de la cadena logística es la referente a la distribución de los diversos productos desde la planta cervecera en donde fueron producidos hasta su consumidor final, y es aquí donde el transporte de carga juega un papel primordial sin embargo para reconocer su importancia es necesario describir a grandes rasgos el proceso de distribución.

Al ser un mercado altamente competido, es necesario contar con un sistema de distribución eficiente que permita satisfacer la demanda del producto en el tiempo y en la cantidad adecuados ya que de no hacerlo, las repercusiones económicas tanto en el corto como el largo plazo pueden ser importantes, sobre todo en relación a la preferencia de los consumidores.

3.3.1. De la Planta al Centro de Distribución

En general las plantas cerveceras se encuentran localizadas en zonas distantes de los centros de distribución, lo anterior aunado a los factores de los tiempos de producción y del alto consumo del producto, hace necesario recurrir a la utilización de vehículos tractocamiones con una o dos cajas secas para su traslado (*Figura 18*).

Cada Centro de Distribución (CeDis) cuenta con un área encargada del control de los pronósticos de la demanda e inventario, la cual también es responsable de generar los pedidos a la planta en tiempo y forma adecuados de manera tal que se pueda satisfacer la demanda del consumidor y planear adecuadamente la producción en planta.



Figura 18 Transporte interurbano
Fuente: CUAMOC, (2013)

Por las características del producto se recurre al transporte interurbano en horario nocturno para evitar su degradación como consecuencia de la exposición a la luz solar y a temperaturas mayores a los 12°C, de manera tal que sea posible su arribo a los centros de distribución en las primeras horas de la mañana (*Figura 19*).

Una vez que el producto ha llegado al CeDis se procede con la descarga y acomodo del mismo (*Figura 20*). Por lo general se sigue un sistema ABC de inventario con una política de primeras entradas primeras salidas.



Figura 19 Llegada del transporte interurbano al CeDis.
Foto: R. Mota



Figura 20 Descarga de transporte interurbano
Foto: R. Mota

3.3.2. Generación de órdenes

Normalmente las órdenes de los clientes se generan de dos formas diferentes: visita y por llamadas directa de los clientes.

En el caso de las visitas, personal de la empresa visita cada punto de venta de los diferentes canales de distribución. El visitador cuenta con un equipo handheld por medio del cual toma la orden, que al ser completada es recibida en las oficinas del CeDis correspondiente (*Figura 21*).

En el caso de las órdenes realizadas por teléfono, el cliente es el que hace contacto con la empresa e indica el número de cajas que requiere, además de sus datos de contacto en donde se acuerda la fecha y lugar en donde se realizará la entrega.

Independientemente de la forma en que se hayan recabado las órdenes, en el CeDis se consolidan todas ellas y se generan los itinerarios de entrega para cada uno de los pedidos, proceso en el cual serán asignados los embarques de cada camión.



Figura 21 Personal encargado de la generación de órdenes
Fuente: CUAMOC, (2013)

3.3.3. Del Centro de Distribución al Consumidor Final

Una vez generadas las órdenes de embarque, se procede a preparar los envíos en los almacenes, para lo cual algunos de ellos se encuentran equipados con racks dinámicos accionados por gravedad, lo que facilita conformación de los pedidos. Una vez conformados se procede a la carga de los camiones, los cuales pueden tener capacidad de 4 a 8 pallets según su configuración y modelo (*Figura 22*).



Figura 22 Vehículos de reparto
Foto: R. Mota

En el momento en que ya se encuentran listos los embarques y han sido cargados en los camiones, se entregan los itinerarios a los operadores junto con los documentos de salida; una vez recibidos, los operadores proceden a realizar la revisión de la carga pues finalmente serán los responsables de ella desde que salen del CeDis hasta que se realiza la entrega. Para salir del CeDis el personal de seguridad hace una nueva inspección visual rápida y se autoriza la salida.

Las rutas son trazadas de acuerdo con la conformación de pedidos, la ubicación de los diversos puntos de venta o lugares de entrega y la zonificación asignada, pero siempre se tiene la libertad de ser modificadas por el operador de acuerdo a las condiciones de congestión en las vialidades. Habitualmente buscan ser de los primeros proveedores en llegar a los diversos puntos de venta para algunos de los canales de distribución como una forma de garantizar el pago de las mercancías.

Se debe tomar en cuenta que los canales de distribución son espacios físicos que se utilizan para hacer llegar los productos del fabricante al consumidor final, y para este caso, los CeDis atienden las tiendas de conveniencia, detallistas, centros de consumo, mercados, etc.

Una vez que se llega al punto de entrega, el operador con el apoyo de un ayudante descargan la mercancía y la entregan en los puntos de venta o en el lugar que indique el cliente haciendo uso de los llamados “diablitos” (Figura 23). Una vez que se completa el recorrido, se emprende el regreso al CeDis.



Figura 23 Entrega en los puntos de venta de los diversos canales de distribución
Fuente: CUAMOC, (2013)

La distribución en el Centro Histórico de la Ciudad de México es un caso especial, sobre todo al considerar la restricción de circulación impuesta por el gobierno capitalino en la cual no se permite que vehículos de carga mayores a 3.5 toneladas transiten en el primer cuadro de la ciudad en un horario de las 7:00 a las 22:00 horas, por lo que el producto es entregado a pequeñas bodegas en lugares estratégicos (Figura 24) desde las cuales se realiza la distribución por medio de “diablitos”, pequeños vehículos eléctricos o de menor capacidad a los habitualmente utilizados en otras zonas de la ciudad, aún cuando para poder cumplir con la demanda de la zona el número de recorridos se incrementa.



Figura 24 Distribución en el Centro Histórico de la Ciudad de México
Foto: R. Mota

3.4. Distribución del producto en la zona de estudio

Dentro de la zona de estudio descrita en el capítulo anterior, se ubican diversos canales de distribución para el producto, siendo éstos tiendas de conveniencia, centros de consumo final y mercados principalmente. En cada uno de ellos se genera demanda del producto en sus diversas presentaciones, sin embargo por las características propias de cada canal de distribución y para los fines del presente estudio, únicamente se tomarán en consideración establecimientos tales como restaurantes, bares y un billar (*Figura 25*).

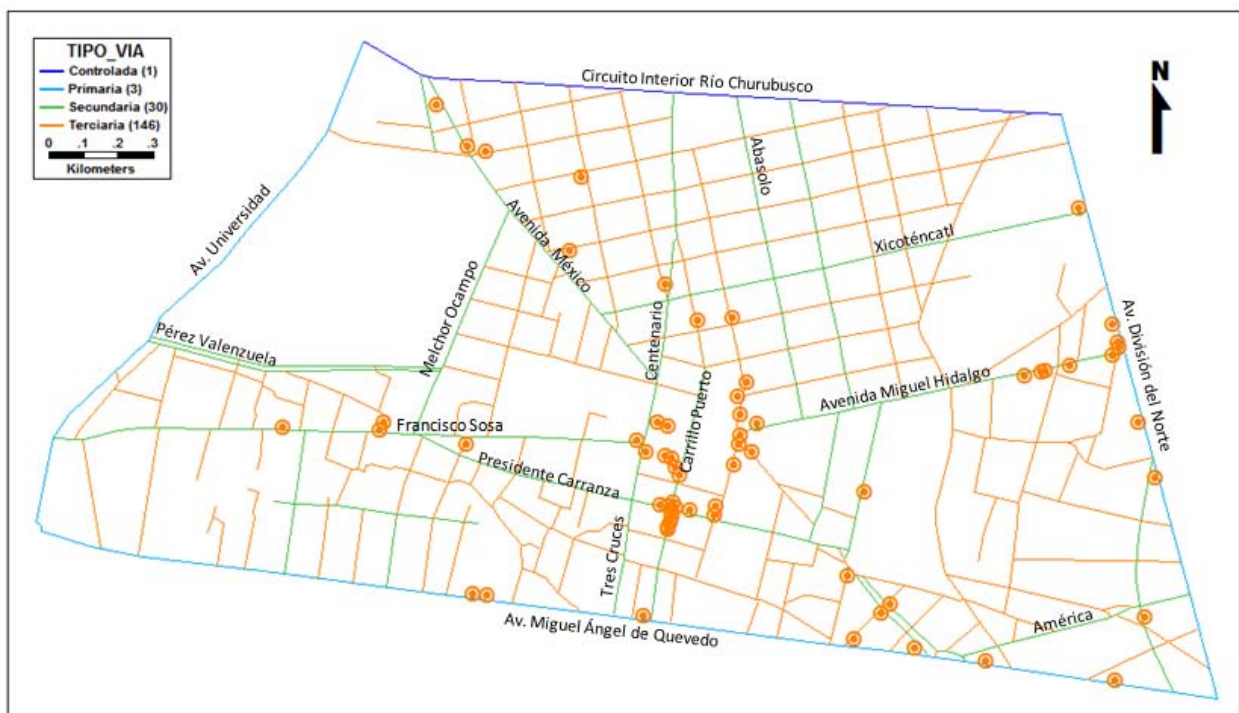


Figura 25 Ubicación de los centros generadores de la demanda
Fuente: Elaboración propia

La distribución de establecimientos (*Figura 26*) es la siguiente:

- Restaurantes (52),
- Bares y cantinas (10), y
- Billar (1)

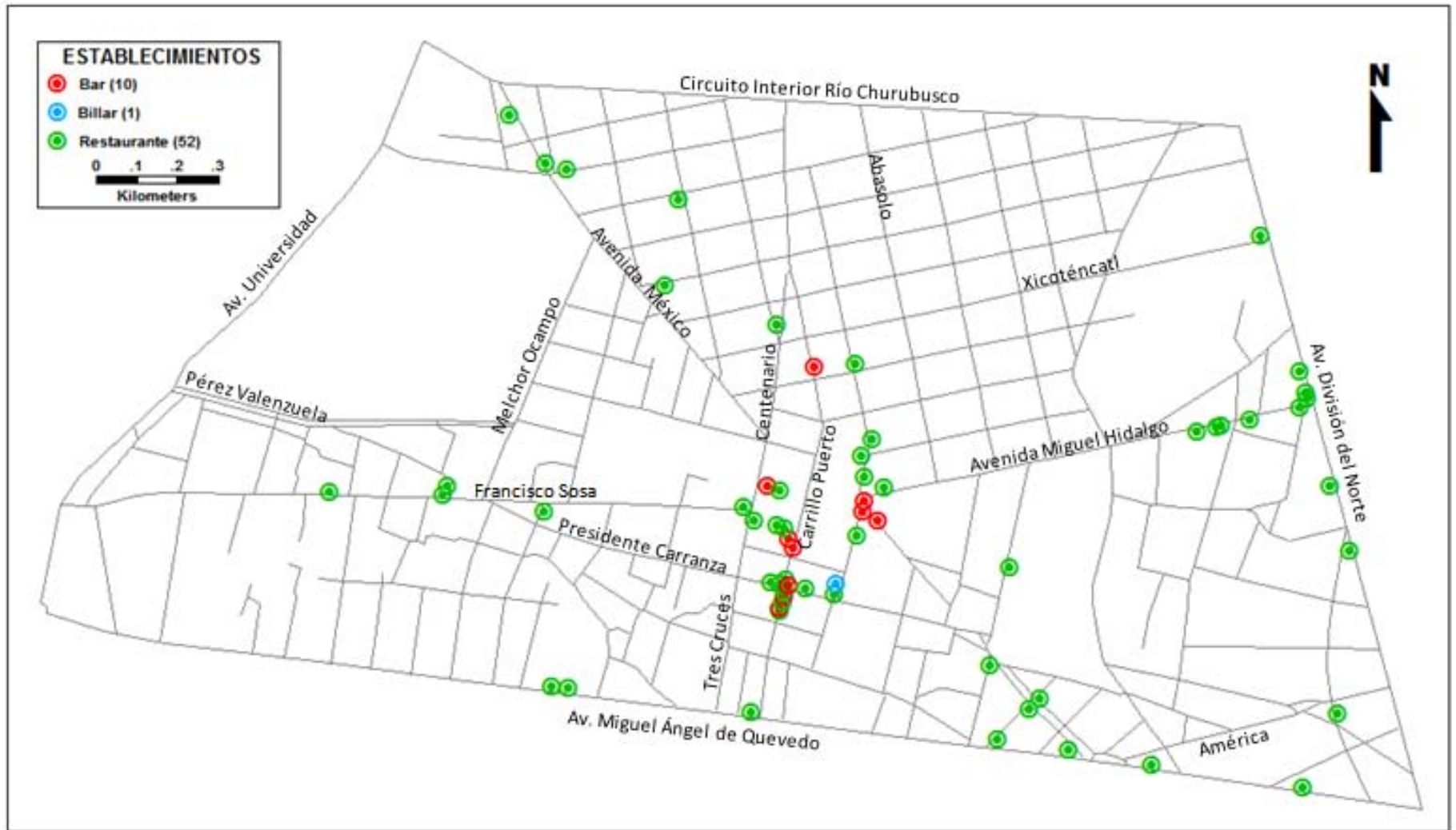


Figura 26 Distribución de establecimientos
Fuente: Elaboración propia

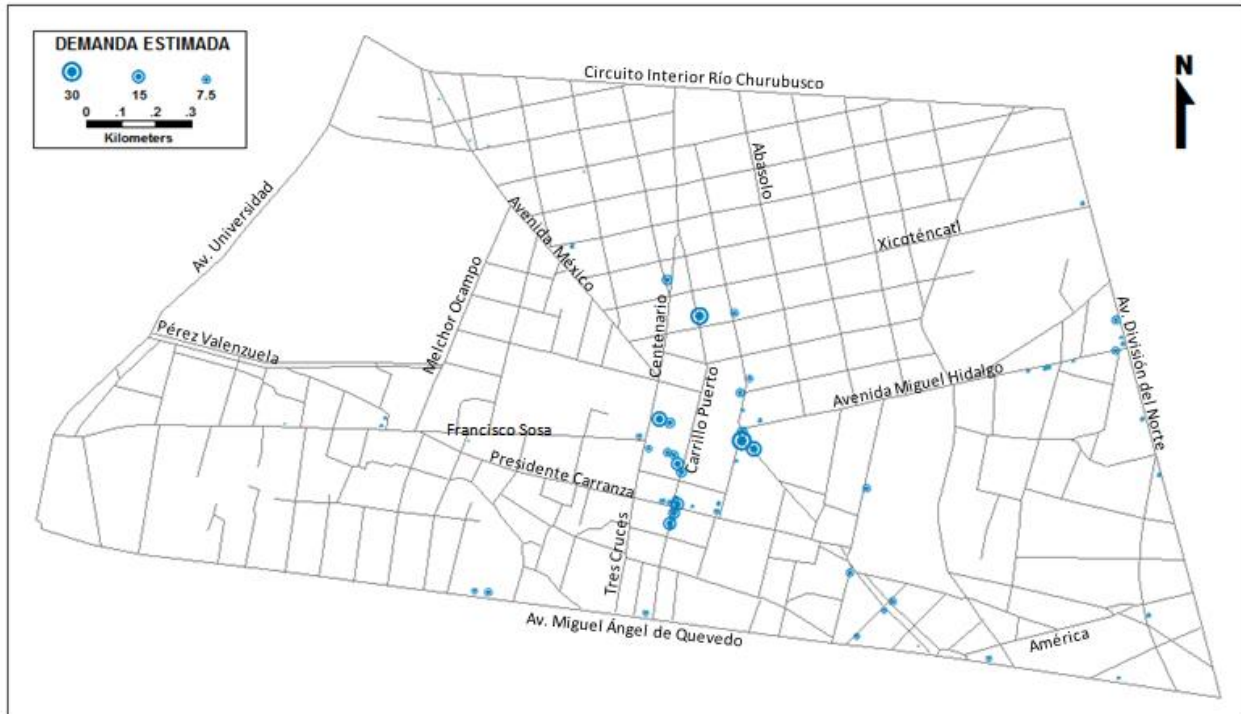


Figura 27 Demanda estimada (número de cajas por día)
Fuente: Elaboración propia

Se observa que existe una mayor concentración hacia la zona del Jardín Hidalgo y del Jardín Centenario; los que no se encuentran en esta zona, se encuentran distribuidos en vialidades primarias y secundarias.

La demanda del producto es la cantidad requerida por cada establecimiento para su comercialización dentro del mismo; los bares y cantinas presentan una mayor demanda de éste, por tanto, los establecimientos con mayor demanda se ubican cerca de la zona de los jardines (*Figura 27*).

Para llevar a cabo la distribución de productos se requiere de la utilización de camiones con las características ya mencionadas (*Figura 28*) los cuales recorren las rutas trazadas desde el CeDis hasta los diversos generadores de demanda con los pedidos que han sido elaborados previamente.



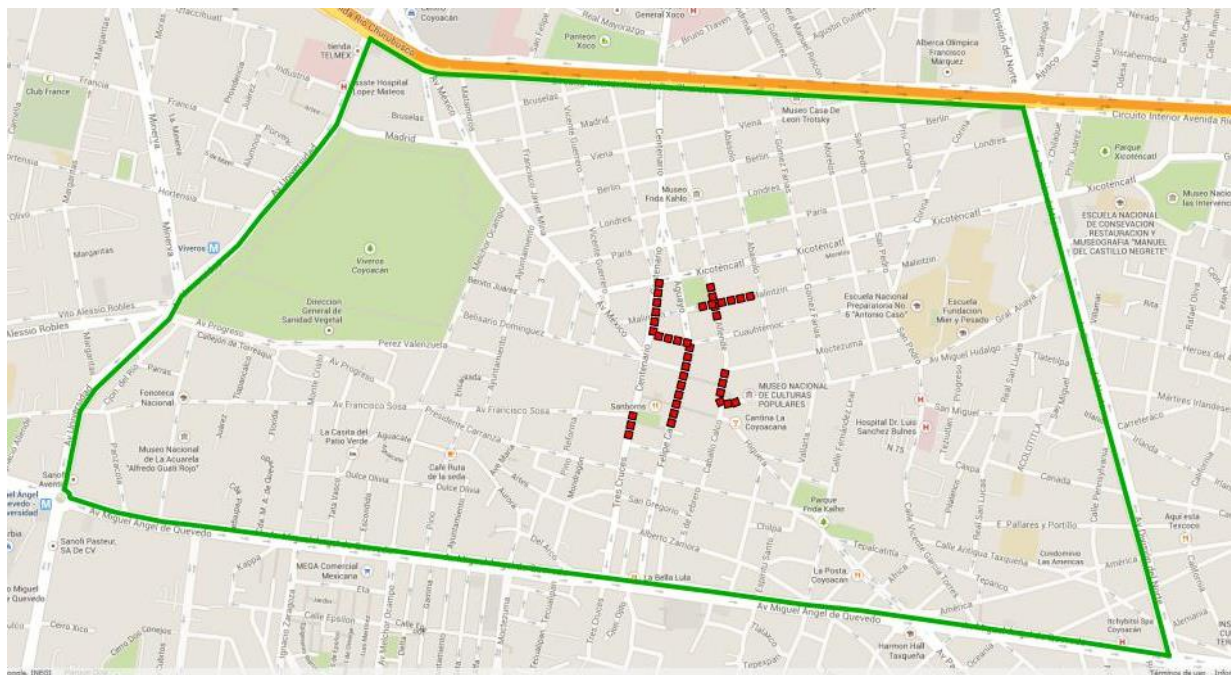
Figura 28 Recorrido en las vialidades dentro de la zona de estudio.
Tomada en calle Felipe Carrillo Puerto. Foto: R. Mota

Los vehículos de reparto se enfrentan a problemas de falta de espacios adecuados para llevar a cabo las operaciones de descarga de los productos y carga de los envases vacíos por lo que tienen que recurrir a estacionarse en puntos cercanos al lugar de la entrega aun cuando sea en espacios no permitidos y/o no sea lo más conveniente para las personas que circulan por el lugar y requieren utilizar las vialidades (*Figura 29*), generando también problemas de congestión al llevarse a cabo en días y horarios en que existe mayor flujo vehicular.

Es importante señalar que no existe la infraestructura adecuada en el área para llevar a cabo las maniobras de carga y descarga de mercancías, por lo que se ha hecho costumbre la utilización de ciertos espacios (*Figura 30*) para tal propósito, cercanos a los jardines principales antes mencionados, aún cuando no se encuentra reglamentado para tal efecto. Entre las calles utilizadas se encuentra Centenario, Avenida Miguel Hidalgo e Ignacio Allende.



**Figura 29 Realización de entregas del producto.
Tomada en calle Cuauhtémoc. Foto: R. Mota**



**Figura 30 Zonas comúnmente utilizadas para descarga de mercancías
Fuente: Elaboración propia**

Generalmente se aplica la política de entrega a primera hora de la mañana para garantizar el pago en las tiendas de conveniencia y mercados; en el caso de los bares, restaurantes y cantinas, cuando los volúmenes de entrega son importantes y los clientes son recurrentes, se pactan los horarios de entrega de forma particular.

Como ya se ha mencionado, las actividades relacionadas con la distribución de mercancías en la zona de estudio contribuyen a la generación de conflictos viales y problemas de congestión por lo que es recomendable analizar el problema con herramientas matemáticas que permitan generar diversas opciones que puedan ser evaluadas y que favorezcan la reducción de los efectos negativos. En los capítulos siguientes se abordará el desarrollo de posibles soluciones.

4. EL PROBLEMA DE RUTAS DE VEHÍCULOS

Como se menciona en el primer capítulo, la distribución de mercancías ha sido pilar fundamental en el desarrollo económico de las ciudades al coadyuvar en el aprovisionamiento de los satisfactores que permiten cubrir las necesidades de la población y de las empresas. Por un lado, el costo del transporte afecta el costo final de los productos, y en consecuencia, la competitividad de las empresas; por otro lado, la distribución urbana de mercancías es uno de los principales generadores de la congestión de tránsito e interfiere con la movilidad urbana en lo referente a la utilización del espacio público.

Ante esta situación, el problema de rutas de vehículos ha generado gran interés tanto en la academia como en la industria, por lo que se han desarrollado diversos modelos y técnicas de resolución que buscan incluir una serie de variantes y restricciones del problema. El problema de ruta de vehículos parte de que se requiere determinar un conjunto de rutas óptimas para la distribución desde uno o varios depósitos hasta la ubicación de cierto grupo de clientes.

Para su análisis, se pueden seguir diferentes criterios dependiendo de las características presentes como por ejemplo el número y tipo de vehículos, la existencia o no de recolección, las condiciones de las entregas, el número de almacenes, entre otros. El problema que sirve de base es conocido como Problema del Agente Viajero, el cual, al ir incorporando en su formulación diferentes restricciones se va tornando más complejo, permitiendo con ello abordar la distribución de mercancías y adoptando el nombre de Problema de Rutas de Vehículos en sus distintas variantes. A continuación se presentan las características principales y algunas técnicas utilizadas para su resolución.

4.1. Problema del Agente Viajero

El Problema del Agente Viajero (del Inglés Traveling Salesman Problem, TSP), hace referencia a un vendedor que requiere visitar cierto número de localidades, representadas por nodos e iniciando y terminando en el lugar de partida, se encuentran conectadas por vías, representadas por arcos a los que se les asigna un costo en función del criterio a utilizar, con la restricción de que solamente debe pasar una vez por cada una de ellas. El objetivo es minimizar ya sea el costo, tiempo o distancia al realizar el recorrido. Esta clase de problema es del tipo NP-Hard por su complejidad algorítmica. (Ahuja, et al., 1993).

Olivera (2004) señala una formulación matemática utilizada para el TPS, la que se muestra a continuación:

$$\text{Min} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij} \quad (4.1a)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (4.1b)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \quad (4.1c)$$

$$\sum_{i \in S, j \in \Delta^+(i) \setminus S} x_{ij} \geq 1 \quad \forall S \subset V \quad (4.1d)$$

$$y_{ij} = 0 \text{ o } 1 \quad \forall (i,j) \in E \quad (4.1e)$$

Para interpretar la formulación se deben considerar que la red por la que se desplazan los vehículos se modela mediante un grafo $G(V, E, C)$, los clientes se encuentran representados por los nodos del grafo, cada arco $(i, j) \in E$ representa el mejor camino para ir del nodo i al nodo j y que tiene asociado un tiempo de recorrido t_{ij} y un costo c_{ij} , y se denota por $\Delta^+(i)$ y $\Delta^-(i)$ a los conjuntos de nodos adyacentes e incidentes al nodo i .

Las variables x_{ij} indican si el arco (i, j) forma parte de la solución. La función objetivo (4.1a) indica que el costo de la solución es la suma del costo de los arcos que conforman la solución; las restricciones contenidas en las ecuaciones (4.1b) y (4.1c) obligan a que se debe llegar y abandonar cada nodo exactamente una vez, y finalmente la ecuación (4.1d) es una restricción que busca la eliminación de sub-tours, es decir, que obliga a que la solución no tenga más que un ciclo.

Conocido como M-TSP, existe una variante del TSP que considera la posibilidad de múltiples Agentes Viajeros, y que tiene como finalidad determinar las rutas mínimas que permitan que cada cliente sea visitado exactamente una vez por exactamente uno de los agentes que salen y regresan a una misma localidad base.

Cuando a un problema M-TSP se le agregan restricciones como por ejemplo la capacidad de los vehículos o de la longitud de las rutas, adquieren el nombre de Problema de Rutas de Vehículos (VRP).

4.2. Problema de Ruta de Vehículos

El Problema de Ruta de Vehículos (del Inglés Vehicle Routing Problem, VRP), de forma general consiste en la determinación de rutas de costo mínimo para una flota vehicular, cuya función es la distribución, recolección o ambas, atendiendo clientes que se encuentran geográficamente dispersos; dichas rutas, al igual que en el TSP, inician y terminan en un almacén o depósito determinado.

Se puede considerar al VRP como una generalización del TSP, al incorporar condiciones adicionales como: cada una de las entregas q_i debe ser realizada en el punto P_i correspondiente, exceptuando al almacén (nodo origen); la capacidad de los vehículos debe cumplir con $C \ll \sum_i q_i$ es decir, que la capacidad debe ser menor al total de las entregas, por lo que solo puede realizar entre 1 y t entregas en cada viaje, en caso contrario si $C \geq \sum_i q_i$, estaremos hablando de un TSP.

Dantzig y Ramser (1959) proponen la siguiente formulación del problema:

Sean:

Un conjunto de n puntos $P_i (i = 1, 2, \dots, n)$ en los cuales se realizarán las entregas desde el punto P_0 denominado almacén.

Una matriz de distancias $D = [d_{ij}]$ que especifica la distancia $d_{ij} = d_{ji}$ entre cada par de puntos $(i, j = 0, 1, \dots, n)$ (que también puede indicar costos o algún parámetro de interés).

Un vector de entregas $Q = (q_i)$ que especifica la cantidad q_i a entregar en cada punto $P_i (i = 1, 2, \dots, n)$

La capacidad de los vehículos es C , donde $C > \max q_i$.

Si $x_{ij} = x_{ji} = 1$ interpretado como que los puntos P_i y P_j están emparejados $(i, j = 0, 1, \dots, n)$ y si $x_{ij} = x_{ji} = 0$, los puntos no están emparejados, obteniendo la condición:

$$\sum_{j=0}^n x_{ij} = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4.2a)$$

desde que cada punto P_i se conecta con P_0 o cuando mucho con algún otro punto P_j . Además, por definición, $x_{ii} = 0$ para toda $i = 0, 1, \dots, n$.

El problema se encuentra entonces en determinar aquellos valores para x_{ij} que hagan que la distancia total

$$D = \sum_{i,j=0}^n d_{ij}x_{ij} \quad (4.2b)$$

sea mínima bajo las condiciones anteriores.

4.2.1. Problema de Ruta de Vehículos con Restricciones de Capacidad

El problema de ruta de vehículos con restricción de capacidad (del Inglés Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP) es uno de los más importantes para la optimización de redes de distribución, al determinar un conjunto de rutas para una flota de vehículos de entrega con la finalidad de minimizar el costo total al servir a un conjunto de clientes cuya demanda es conocida. La ruta será diseñada en el entendido de que cada cliente deberá ser visitado sólo una vez y por únicamente un vehículo.

Para el planteamiento del problema, a diferencia del caso general, cada vehículo tiene la misma capacidad de carga y salen de un mismo depósito en ruta hacia los consumidores; la carga no puede exceder la capacidad de carga y a su vez no puede ser dividida.

Lin, S.-W. et al. (2009) señalan que el problema puede ser modelado de la manera siguiente:

$$\text{Minimizar} \quad \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K C_{ij} X^k_{ij} \quad (4.2.1a)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N X^k_{ij} d_i \leq Q^k \quad 1 \leq k \leq K \quad (4.2.1b)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N X^k_{ij} (C_{ij} + S_i) \leq T^k \quad 1 \leq k \leq K \quad (4.2.1c)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{ijk} = \sum_{j=1}^N X_{jik} \leq 1 \quad \text{para } i = 0 \text{ y } k \in \{1, \dots, k\} \quad (4.2.1d)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^N X_{ijk} \leq K \quad \text{para } i = 0 \quad (4.2.1e)$$

donde

K es el número de vehículos,
 N es el número de clientes,
 C_{ij} es el costo en que se incurre al ir del consumidor i al consumidor j ,
 S_i es el tiempo de servicio al consumidor i ,
 Q^k es la capacidad de carga del vehículo k ,
 T^k es la máxima ruta (distancia) del vehículo k ,
 d_i es la demanda del consumidor i ,
 $X^K_{ij} \in 0$ y 1 ($i \neq j$; $i, j \in 0, 1, \dots, N$)

De lo anterior, la ecuación (4.2.1a) corresponde a la función objetivo del problema; la ecuación (4.2.1b) enuncia la restricción en la capacidad de carga, donde $X^K_{ij} = 1$ si el vehículo k viaja directamente del consumidor i al consumidor j , y 0 de otra forma; la ecuación (4.2.1c) corresponde a la restricción de la distancia máxima de viaje; la ecuación (4.2.1d) asegura que cada ruta inicie y finalice en el almacén o bodega; finalmente, la ecuación (4.2.1e) indica que son un máximo de K rutas las que salen del depósito o bodega.

Por su complejidad computacional, el CVRP es un problema del tipo NP-Hard, por lo que es difícil llevar a cabo su resolución de forma directa, sobre todo si el tamaño del problema es grande.

4.2.2. Problema de Ruta de Vehículos con Ventanas de Tiempo

El problema de ruta de vehículos con ventanas de tiempo (del Inglés Vehicle Routing Problem with Time Windows, VRPTW) es una variante del VRP clásico, en el que un grupo de consumidores con demandas conocidas, requieren ser atendidos, siendo que el servicio que requieren se encuentra restringido a que debe ser proporcionado dentro una ventana de tiempo disponible en la ubicación del consumidor.

El hecho de que el servicio al cliente deba ser proporcionado dentro de su ventana de tiempo disponible, implica que el vehículo puede llegar antes de la apertura de la ventana de tiempo y esperar, sin costo, hasta que el cliente se encuentra disponible, sin embargo, el vehículo no tiene permitido llegar después de que la ventana de tiempo ha finalizado. El no llevar a cabo la entrega dentro de la ventana de tiempo establecida puede tener, entre otras implicaciones económicas, penalizaciones o la cancelación de pedidos.

El objetivo principal es minimizar el número de vehículos requerido para satisfacer las necesidades de los clientes, y de manera secundaria minimizar la distancia recorrida.

Pang K.-W. (2011) utiliza el modelo siguiente para el VRPTW:

$$\text{Minimizar } \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} C_{ij} X_{ijk} \quad (4.2.2a)$$

$$\text{Sujeto a } \sum_k \sum_j X_{ijk} = 1 \text{ para toda } i \in V \setminus \{S_v\} \quad (4.2.2b)$$

$$\sum_j X_{S_vjk} = 1 \text{ para toda } k \in K \quad (4.2.2c)$$

$$\sum_j X_{iS_vk} = 1 \text{ para toda } k \in K \quad (4.2.2d)$$

$$\sum_j X_{ijk} = \sum_j X_{jik} \text{ para toda } k \in K \text{ y toda } i \in V \setminus \{S_v\} \quad (4.2.2e)$$

$$X_{ijk}(T_{ik} + \tau_i + t_{ij} - T_{jk}) \leq 0 \text{ para toda } k \in K \text{ y } (i,j) \in A \quad (4.2.2f)$$

$$a_i \leq T_{ik} \leq b_i \text{ para toda } k \in K \text{ y } i \in V \quad (4.2.2g)$$

$$0 < T_{ik} < T \text{ para toda } k \in K \text{ y } i \in \{0, n+1\} \quad (4.2.2h)$$

$$\sum_i d_i \sum_j X_{ijk} \leq Q \text{ para toda } k \in K \quad (4.2.2i)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \text{ para toda } k \in K, (i,j) \in A \quad (4.2.2j)$$

El objetivo del modelo es minimizar el costo total de viaje de los vehículos; la función objetivo no considera el número de vehículos utilizados, sin embargo, la solución que involucre al menor número de vehículos por lo general se considerada como mejor que otras que utilizan más vehículos, inclusive si la distancia total con un menor número de vehículos es mayor.

La ecuación (4.2.2b) restringe la asignación de cada cliente a exactamente una ruta; las ecuaciones (4.2.2c) y (4.2.2d) indican que el vehículo k debe salir y regresar al depósito S_v ; la ecuación (4.2.2e) implica la conservación del flujo del vehículo k hacia todos los nodos de clientes.

La ecuación (4.2.2f) indica que si el vehículo k atraviesa el arco $i \rightarrow j$, los servicios inician en el nodo del cliente j al menos t_{ij} unidades de tiempo después de haber salido del nodo i ; las ecuaciones (4.2.2g) y

(4.2.2h) son las restricciones de las ventanas de tiempo para el vehículo k en el nodo del cliente i y S_v respectivamente; la ecuación (4.2.2i) es la restricción de capacidad del vehículo k sobre el arco $i \rightarrow j$, lo que permite garantizar que la carga en el vehículo es menor o igual al límite de la capacidad de carga en la ruta; finalmente la ecuación (4.2.2j) especifica las variables binarias de decisión.

4.3. Caracterización del problema

En la sección anterior se mostró el problema general de ruta de vehículos (VRP) y dos variantes fundamentales (CVRP y VRPTW), sin embargo, de acuerdo con las características o restricciones a considerar, existen múltiples variantes del problema por lo que es necesario determinar de forma detallada sus características particulares.

4.3.1. Criterios de clasificación en la literatura

Eksioglu, et al. (2009) hacen una recopilación en la que presentan una buena clasificación de las características del VRP, dicha clasificación permite llevar a cabo la selección de la variante del modelo VRP que mejor represente las condiciones de un problema específico dado. Se deben considerar las características:

1. del escenario, que como tal no representan las restricciones para la solución del problema pero representan las condiciones en las que se desarrolla el problema;
2. físicas del problema, en donde se considera a las restricciones que afectan directamente a la solución del problema;
3. de la información y de los datos, en donde se busca clasificar el tipo de datos disponibles y su origen;
4. del tipo de estudio realizado al ser reportado en la literatura especializada, dependiendo de la forma en que es abordado.

Para las **características del escenario** se considera:

- a) el *número de paradas en la ruta*, pudiendo ser
 - a. determinísticas (número de paradas conocido previamente), o

- b. parcialmente conocidas y parcialmente probabilísticas;
- b) si se permite o no la *división de la carga*;
- c) la *cantidad que demanda el consumidor*, pudiendo ser
 - a. conocida con antelación (determinística),
 - b. estocástica (probabilística), o
 - c. desconocida (por lo general es proporcionada en tiempo real);
- d) los *tiempos de solicitud de nuevos clientes* pueden ser
 - a. determinísticos,
 - b. estocásticos o
 - c. en tiempo real;
- e) los *tiempos de servicio / espera en el lugar*, pudiendo ser
 - a. determinísticos,
 - b. dependientes del tiempo,
 - c. dependientes del tipo de vehículo,
 - d. estocásticos, o
 - e. en tiempo real;
- f) las *estructuras de las ventanas de tiempo*, siendo
 - a. estrictas (rígidas),
 - b. flexibles (aceptan ciertas tolerancias), o
 - c. mezclas de ambas;
- g) el *horizonte de tiempo*, ya sean
 - a. periodos simples, o
 - b. múltiples;
- h) *regreso de mercancías*, siendo que
 - a. el consumidor requiera de entrega y recolección de forma simultánea, o
 - b. sólo alguno de los dos;
- i) el *cumplimiento de restricciones de los nodos / arcos*, siendo
 - a. restricciones de precedencia y acoplamiento,
 - b. subconjuntos de restricciones, o
 - c. recirculación permitida.

Respecto a las **características físicas del problema** se considera:

- a) la *red de transporte en su diseño* es
 - a. dirigida, o
 - b. no dirigida;
- b) *ubicación de los clientes* o usuarios en la ruta, ya sea
 - a. en los nodos, o
 - b. en los arcos;
- c) *ubicación geográfica de clientes*, siendo
 - a. urbanos,
 - b. rurales, o
 - c. una mezcla de ambos;
- d) *lugares de origen*, siendo
 - a. único, o
 - b. múltiples;
- e) *número de instalaciones* para la carga / descarga (*depósitos*), siendo
 - a. múltiples, o
 - b. único;
- f) tipo de *ventanas de tiempo*, siendo
 - a. restringidas por los clientes,
 - b. por las vialidades,
 - c. por los centros / depósitos, o
 - d. por parte de los conductores / vehículos;
- g) el *número de vehículos*, ya sea
 - a. exactamente n vehículos,
 - b. arriba de n vehículos, o
 - c. vehículos ilimitados;
- h) las *consideraciones de capacidad*, siendo
 - a. limitada, o
 - b. ilimitada;
- i) *homogeneidad vehicular*, siendo
 - a. vehículos similares (de capacidad),

- b. vehículos con tipo de carga específica,
 - c. heterogéneos, o
 - d. bajo especificaciones del cliente;
- j) el *tiempo de viaje*, ya sea
- a. determinístico,
 - b. estocástico,
 - c. dependiente de alguna función de desempeño, o
 - d. conocido en tiempo real;
- k) el *costo de transporte*, siendo
- a. dependiente del tiempo de viaje,
 - b. de la distancia,
 - c. del vehículo,
 - d. de la operación, o
 - e. en función del retraso o del riesgo / peligro implícito.

En lo referente a las ***características de la información***, se considera:

- a) la *evolución de la información*, pudiendo ser
- a. estática, o
 - b. parcialmente dinámica;
- b) la *calidad de la información*, es decir, si es
- a. conocida (determinística),
 - b. estocástica (probabilística),
 - c. pronóstico, o
 - d. desconocida (que corresponde a tiempo real);
- c) la *disponibilidad de la información* puede ser
- a. de carácter local, o
 - b. global;
- d) el *procesamiento de la información*
- a. centralizado, o
 - b. descentralizado.

Respecto al **tipo de datos**:

- a) si en el problema *se utilizan datos*, pueden ser
 - a. reales,
 - b. síntesis de datos, o
 - c. ambos;
- b) también existe la posibilidad de que *no utilicen datos*.

Finalmente, al considerar el **tipo de estudio realizado**, pueden ser:

- a) de *carácter teórico*;
- b) de *aplicación de métodos*, los que pueden ser
 - a. exactos,
 - b. heurísticos,
 - c. simulaciones, o
 - d. solución en tiempo real;
- c) *documentación de implementación*;
- d) *encuesta*;
- e) *revisión*;
- f) *meta investigación*.

Con las características anteriormente enunciadas, es posible identificar la clase a la que pertenece el problema que se aborda en el presente trabajo.

4.3.2. Clasificación del Problema de Distribución de Bebidas en el Centro de Coyoacán

Con base en la clasificación anterior, el problema abordado en el presente trabajo tiene las características siguientes:

- a) por el tipo de estudio,
 - a. aplicación de método;

- b) por las características del escenario,
 - a. número de paradas conocido,
 - b. no permite la división de carga,
 - c. demanda por parte del cliente previamente definida (determinística),
 - d. tiempo de espera/ servicio en el sitio determinístico,
 - e. ventanas de tiempo rígidas;
- c) respecto a las características físicas del problema,
 - a. red de transporte dirigida,
 - b. clientes se encuentran en los nodos,
 - c. localización urbana,
 - d. un solo centro de abastecimiento,
 - e. restricción en las ventanas de tiempo correspondiente a los clientes,
 - f. vehículos restringidos en su capacidad y de características similares,
 - g. con un costo de transporte dependiente de la distancia;
- d) en lo referente a las características de la información,
 - a. es estática, y
- e) respecto al tipo de datos,
 - a. los utilizados son una síntesis.

Es importante recordar que existen dos tipos de cliente, es decir restaurantes y bares, que tienen horarios de servicio distintos y que requieren tener el producto antes de su hora de apertura al público, por lo que es importante cumplir con las entregas dentro de las ventanas de tiempo establecidas.

Por tanto, el modelo del Problema de Ruta de Vehículos con Ventanas de Tiempo (VRPTW), puede ser utilizado en primera instancia para representar al problema de reparto de cerveza en el Centro de Coyoacán debido a que permite considerar de manera formal las características del problema descritas en esta sección; tradicionalmente para un problema del tipo VRPTW se busca minimizar el número de vehículos utilizados y la distancia recorrida en las rutas, sin embargo, por las consideraciones iniciales y los objetivos planteados como la reducción de impactos negativos, el problema se vuelve del tipo VRPTW multicriterio.

Algunos autores han realizado planteamientos y análisis del VRP con múltiples criterios como por ejemplo Figliozzi (2009), que plantea un VRP que busca reducir las emisiones, al que denomina Emissions Minimization Vehicle Routing Problem (EVRP); Bektaş y Laporte (2011) proponen una variación del VRP al que le llaman Pollution-Routing Problem (PRP), en donde entre otros parámetros utilizan la carga del vehículo, la velocidad y el costo. Cada uno de ellos hace uso de una serie de técnicas en su búsqueda por determinar soluciones a las diversas variantes del VRP, algunas técnicas utilizadas se enuncian en la sección siguiente.

4.4. Técnicas de solución

Los problemas como el del Agente Viajero o sus derivaciones en las diversas variantes del Problema de Ruta de Vehículos son de la clase NP-Hard, lo que implica la dificultad en la implementación de algoritmos que permitan la resolución de cada variante del problema en tiempo polinomial. Como resultado de los esfuerzos que se han realizado en el afán de resolverlos de forma cada vez más eficiente en cuanto al tiempo de ejecución y a la calidad de las soluciones obtenidas, se han desarrollado en parte gracias al incremento en la capacidad de cómputo y a la disminución de su costo, una serie de técnicas conocidas como algoritmos heurísticos o aproximados, los cuales proporcionan buenas soluciones aún cuando no sean óptimas.

Dentro de este grupo de heurísticas se encuentran:

Algoritmos de hormigas

Se encuentra inspirado en el comportamiento natural de las colonias de hormigas al buscar su alimento. Cuando una hormiga ubica un camino hacia una fuente de alimento, va depositando una sustancia denominada feromona, en una cantidad dependiente de la longitud del camino y la calidad del alimento encontrado. Si una hormiga no detecta la presencia de feromona se moverá de forma aleatoria, pero si la detecta decidirá, con una alta probabilidad, moverse por los caminos con una mayor cantidad, lo que incrementará la presencia de la feromona de manera simultánea. De lo anterior surge un comportamiento denominado como autocatalítico, consistente en que entre mayor sea el número de hormigas que sigan la ruta, mayor atractivo tendrá para ellas (Olivera, 2004).

En los algoritmos de hormigas, se simula el comportamiento antes descrito, cada hormiga construye una solución utilizando la combinación de un criterio que le indica qué tan buena pareciera ser tomar cierta decisión, y la información histórica (en la función de feromona) que indica qué tan acertado ha sido tomar la decisión. La decisión a tomar en cada paso por cada uno de los elementos es determinar la próxima entidad o localidad a visitar (Olivera, 2004).

Tabú Search

Se basa en la realización de una búsqueda local en donde soluciones que incrementan el costo son aceptadas; en cada iteración el algoritmo se mueve a una mejor solución dentro de un subconjunto de soluciones vecinas. Es importante señalar que la solución encontrada no necesariamente es de menor costo que la anterior, por lo que es necesaria la utilización de algún mecanismo para que en la siguiente iteración no se vuelva a la solución anterior, para ello se utiliza una memoria de corto plazo en la que se registran algunos atributos de las soluciones ya obtenidas por lo que se evita durante cierto número de iteraciones considerar las soluciones que posean dichos atributos. Las soluciones prohibidas se denominan tabú y las operaciones que llevan a ellas se nombran movidas tabú. En ocasiones se utiliza un criterio para aceptar soluciones aún cuando sean tabú denominado criterio de aspiración; a las soluciones que no son tabú y a las que pasan el criterio de aspiración se les llama soluciones admisibles. Finalmente, la búsqueda se realiza sobre las soluciones admisibles de la vecindad (Olivera, 2004).

Para asegurar una exploración en diferentes regiones dentro del espacio de soluciones, se puede utilizar una memoria de largo plazo que penalice las operaciones realizadas con mayor frecuencia. También pueden realizarse búsquedas más exhaustivas o utilizar vecindades más grandes para las mejores soluciones encontradas (Olivera, 2004).

Algoritmos genéticos

Se emplean las ideas de la evolución natural de los seres vivos en la resolución de problemas de optimización y búsqueda. Se trabaja sobre una representación de las soluciones como pueden ser vectores, matrices o árboles, el algoritmo opera sobre una población de soluciones llamadas individuos, teniendo asignada cada una de ellas una función conocida como función de aptitud de manera que cuanto mayor sea la aptitud de un individuo, mejor será la solución que representa. En cada iteración se aplican

operadores evolutivos que modifican a los individuos de la población creando una nueva. Usualmente se operan tres fases siendo selección, cruzamiento y mutación. El operador de selección se encarga de elegir algunos de los individuos de la población que tendrán la posibilidad de reproducirse, siendo de tipo probabilístico y suelen privilegiar a los individuos con mayor aptitud, los operadores de cruzamiento y mutación operan sobre los individuos, es decir, sobre la codificación de las soluciones, llamando generación a cada una de las poblaciones sucesivas (Olivera, 2004).

Para cada una de las heurísticas antes mencionadas existen diversas variantes que permiten encontrar soluciones para los diversos tipos de problemas para las que son empleadas.

Otras herramientas de solución

Conformadas principalmente por programas especializados de carácter comercial, entre los que se encuentran los Sistemas de Información Geográfica (SIG's) que incorporan algoritmos que permiten la resolución de algunos de los problemas asociados al transporte, por lo que reciben el nombre de SIG-T, entre los que se encuentran TransCAD© y Arc/Info©.

Este tipo de herramientas facilitan al usuario la obtención de soluciones al ofrecer un entorno de trabajo amigable y evitarle, en la mayoría de los casos, la utilización de lenguajes de programación; entre los diversos tipos de problemas que pueden ser abordados con estas herramientas informáticas se encuentran los de modelos de flujos de redes, entre ellos los problemas de asignación y los de flujo a costo mínimo; los problemas de ruta de vehículos como los que contemplan ventanas de tiempo y/o restricciones de capacidad; modelos de localización de instalaciones, y problemas de agrupación regional.

Sin negar la gran utilidad que tienen este tipo de programas, en su mayoría se han convertido en "cajas negras" al desconocerse el tipo de algoritmo que utilizan para la obtención de resultados, aun cuando por la capacidad y velocidad de ejecución, se podría asumir que utilizan alguna de las heurísticas anteriormente mencionadas.

5. REPRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

Para poder determinar las rutas que deberán ser utilizadas para el proceso de distribución de cerveza en el Centro Histórico de Coyoacán se utilizó un programa SIG-T comercial conocido como TransCAD®. Para poder modelar el problema de estudio de acuerdo con las condiciones y características planteadas en los tres capítulos anteriores fue necesario representar mediante capas geográficas la información de las vialidades, las ubicaciones y características de los establecimientos, tiempos y horarios de servicio, etc. de forma que pudieron ser procesados adecuadamente.

En el presente capítulo se presenta el proceso por medio del cual se elaboró la representación de la red vial, la ubicación de los establecimientos dentro de la misma, así como la información adicional pertinente.

5.1. Construcción de la representación del problema de estudio

5.1.1. Respecto al proceso de distribución

Para la representación del problema de estudio es importante considerar los aspectos del proceso de distribución que se pueden modelar, por lo que se puede enunciar lo siguiente:

El proceso de distribución inicia desde el momento en que se reciben los pedidos, de manera que una vez conformada la lista del día, se generan las rutas que deberán seguir los vehículos; un equipo de trabajo se encarga de conformar los pedidos y ubicarlos en las cajas de los respectivos vehículos.

Poco antes de la hora en que deben salir del Centro de Distribución (CeDis), los operadores reciben la documentación respectiva de los pedidos, momento en el cual revisan que el contenido de los envíos corresponda con el número de cajas documentadas; a partir de este punto, el proceso puede ser modelado como un problema de ruta de vehículos.

Una vez que el vehículo sale del CeDis, circula sobre diversas vialidades hasta llegar a la zona de distribución, una vez que llega a los diversos puntos en donde se llevarán a cabo las entregas, el operador debe buscar un espacio disponible cercano al lugar de la entrega en donde pueda ser estacionado el

vehículo para llevar a cabo la operación de descarga del producto, y esperar mientras se realiza la entrega y la operación de carga de envases vacíos (en su caso). Al tiempo empleado para llevar a cabo este proceso se señala como tiempo de servicio.

Una vez llevada a cabo la entrega, el vehículo retoma la circulación para conducirse al siguiente punto en el cual debe llevar a cabo la próxima entrega. Finalmente, ya que ha terminado su recorrido programado, emprende el regreso al CeDis.

Del proceso anterior se pueden conocer datos como el tiempo de servicio en cada parada, la velocidad de circulación en cada calle (arco) y la ubicación de los puntos de demanda dentro del Centro de Coyoacán.

5.1.2. Demanda del producto

La demanda del producto es la cantidad requerida por cada establecimiento para su comercialización dentro del mismo. Dicha cantidad fue estimada (*Tabla 11*) en función de las características observadas de los establecimientos considerados para el presente estudio, tales como ubicación, tamaño del local y ocupación; la información relacionada con el número de empleados fue determinada por medio del DENUE (INEGI, 2013). Es importante mencionar que la demanda del producto es más significativa los días viernes, sábado, domingo y días festivos por lo que la frecuencia de entrega puede ser diaria en estos días, mientras que de lunes a jueves puede ser diferenciada.

El producto a considerar es una cerveza cuya presentación es en envase de vidrio de 355 ml conocida como “botella de media”, la cual se distribuye en cajas de cartón con 12 piezas cada una; por tanto, la cuantificación de la demanda fue planteada en cajas con esa característica.

5.1.1. Tipos de vehículo utilizados

Para llevar a cabo la entrega de productos, se utilizan camiones con diversas capacidades de carga, los cuales pueden ser de la marca International con capacidades de 6 y 8 pallets según su configuración o Isuzu con capacidad de 4 pallets, y con rendimiento de combustible promedio de 3.5 km/l.

<i>Nombre</i>	<i>Tipo</i>	<i>Servicio</i>	<i>Personal</i>	<i>Afluencia</i>	<i>Demanda estimada</i>
Asadero 530	Restaurante	Completo	11-30	media	4
Potzolcalli	Restaurante	Completo	31-50	alta	6
La Bella Lula	Restaurante	Completo	11-30	media	4
El Morral	Restaurante	Completo	11-30	media	4
Long-Du	Restaurante	Completo	11-30	media	4
André	Restaurante	Completo	11-30	baja	2
Del Parque	Restaurante	Llevar	6-10	media	3
El Gallito	Restaurante	Llevar	6-10	media	3
El Jarocho	Restaurante	Llevar	6-10	media	3
Coyoacán	Restaurante	Cocina	0-5	baja	2
Rey del Taco	Restaurante	Llevar	0-5	media	3
La Tablita	Restaurante	Completo	31-50	alta	8
Chester	Restaurante	Completo	11-30	media	3
Pause	Restaurante	Completo	11-30	baja	1
Las Lupitas	Restaurante	Completo	11-30	baja	2
Catarina	Restaurante	Completo	11-30	baja	2
Montmartre	Restaurante	Completo	11-30	baja	1
Moheli	Restaurante	Completo	11-30	media	4
Alcatraces	Restaurante	Completo	6-10	baja	1
Manjar	Restaurante	Completo	0-5	baja	1
Sheik	Restaurante	Completo	11-30	baja	1
Giacco	Restaurante	Completo	6-10	media	3
Encantada	Restaurante	Llevar	0-5	baja	1
Tacogusto	Restaurante	Completo	6-10	media	3
Osil	Bar	Limitado	6-10	alta	14
Erradero	Restaurante	Limitado	6-10	media	3
Guarapeta	Bar	Limitado	6-10	alta	12
Taco Inn	Restaurante	Completo	6-10	media	4
Garage	Bar	Limitado	6-10	alta	15
Tucán	Restaurante	Llevar	0-5	media	4

Tabla 11 Demanda determinada (1/2)

Fuente: Elaboración propia con base en diversas fuentes

<i>Nombre</i>	<i>Tipo</i>	<i>Servicio</i>	<i>Personal</i>	<i>Afluencia</i>	<i>Demanda estimada</i>
Quete	Restaurante	Limitado	6-10	media	4
Cross	Bar	Limitado	6-10	alta	10
Bigotes	Bar	Limitado	6-10	alta	14
Esquina	Restaurante	Limitado	6-10	media	5
Rest 1	Restaurante	Completo	6-10	alta	8
Rest 2	Restaurante	Completo	6-10	alta	8
Rest 3	Restaurante	Completo	6-10	alta	10
H Cuervo	Bar	Limitado	31-50	alta	20
Frontón	Bar	Limitado	6-10	alta	25
Argentino	Restaurante	Completo	6-10	media	2
Capricho	Restaurante	Completo	11-30	baja	6
Rincon	Restaurante	limitado	6-10	media	3
Posta	Restaurante	Completo	11-30	media	3
Chilpitin	Restaurante	Limitado	6-10	baja	2
Pepecoy	Restaurante	Completo	6-10	media	3
Restofabio	Restaurante	Limitado	0-5	baja	2
Morral	Restaurante	Completo	31-50	alta	8
Villa Coral	Restaurante	Completo	11-30	media	5
Mariscos 1	Restaurante	Limitado	6-10	alta	6
Arracheras	Restaurante	Limitado	0-5	baja	1
Churrascos	Restaurante	Completo	11-30	media	6
La posta	Restaurante	Completo	11-30	media	5
Convento	Restaurante	Completo	11-30	media	6
De Cortés	Restaurante	Completo	11-30	media	6
Coyoacana	Bar	Limitado	31-50	alta	20
Guadalupana	Bar	Limitado	31-50	alta	30
Puesta del Sol	Bar	Limitado	6-10	media	10
Rest 4	Restaurante	Completo	6-10	baja	2
Billar				baja	3
Salamandra	Restaurante	Limitado	6-10	baja	4
Tacoscent	Restaurante	Completo	11-30	alta	10
Quetacóatl	Restaurante	Completo	6-10	baja	2
Cebistro	Restaurante	Completo	6-10	media	4

Demanda determinada (2/2)

Fuente: Elaboración propia con base en diversas fuentes

El producto se estiba en tarimas con 96 cajas, por lo que un camión de cuatro tarimas de capacidad puede transportar hasta 384 cajas; un camión de seis tarimas de capacidad puede transportar hasta 576 cajas y un camión de ocho tarimas de capacidad, hasta 768 cajas.

5.2.SIG-T seleccionado para abordar el problema descrito

TransCAD© es un programa computacional que integra un Sistema de Información Geográfica (GIS) con modelos de planeación y aplicaciones logísticas, es decir, combina un conjunto de capacidades para mapeo digital, gestión de bases de datos geográficas y presentaciones gráficas con herramientas para la aplicación de modelos estadísticos, de transporte y de investigación de operaciones; diseñado entre otras cosas para la planeación, gestión y análisis de los sistemas de transporte y su infraestructura, (CALIPER,1999).

Entre los problemas de transporte que se pueden abordar se encuentran los siguientes, (CALIPER,1999):

- Problema de la ruta más corta
- Problema del Agente Viajero
- Problema de Ruta de Vehículos
- Flujo en Redes
- Ubicación – Asignación
- Planeación del transporte
- Modelos de demanda
- Problema de transbordo

Por las características del problema de estudio, se utilizará la opción de Problemas de Rutas de Vehículos, debido a que permite considerar diferentes variaciones del problema general, permitiendo incluir en las propuestas de solución lo siguiente:

- *Vehículos*: al considerar la capacidad de carga de los diferentes tipos de vehículo para la obtención de soluciones.
- *Establecimientos*: pudiendo señalar características como ubicación, horario de inicio y término de las ventanas de tiempo relacionadas con los horarios permitidos de entrega, etc.

- *Almacén*: éste se encuentra relacionado con la duración de la ruta al señalar el horario de servicio en el cual los vehículos deberán salir y regresar a él.
- *Red*: Considerando un arreglo de nodos y arcos, en donde cada arco representa un tramo de las vialidades en las cuales podrán circular los vehículos de reparto con características como longitud, velocidad, sentido de circulación, etc. y cada nodo representa el cruce entre ellas.

Para el uso de la opción antes mencionada, es necesario generar archivos geográficos que contengan lo siguiente:

- Vialidades (red vial)
- Ubicación de los clientes (establecimientos)
- Ubicación del depósito (CeDis)

Cada uno de ellos debe incluir las características específicas de cada elemento.

5.3. Representación de la red vial del Centro Histórico de Coyoacán

El desarrollo de la representación de la red vial del Centro Histórico de Coyoacán, se inició mediante la ubicación de la zona de estudio, delimitada por las Avenidas División del Norte (al este), Circuito Interior Río Churubusco (al Norte), Universidad (al oeste) y Miguel Ángel de Quevedo (al sur); enclavado dentro del territorio de la Delegación Coyoacán.

Para el trazado de la red se utilizó Google™ Earth, aplicación que permite el libre trazo de las vialidades como elementos de ruta, pudiendo asignar a cada una atributos tales como el nombre de la calle y la longitud (*Figura 31*). Es importante señalar la relevancia de realizar los trazos acordes a la dirección de circulación en cada una de las calles debido a que en una etapa posterior se deberá asignar un nuevo atributo para señalar la dirección de circulación y al coincidir con la dirección topológica, ya no será necesario modificar nuevamente salvo por las vialidades con doble sentido de circulación.



Figura 31 Trazado en Google™ Earth de las vialidades dentro de la zona de estudio
Fuente: Elaboración propia

Una vez completado el trazado de las vialidades en la zona de estudio, se procede a incluir las vías de acceso desde el Centro de Distribución (Figura 32), de manera que desde su ubicación se pueda tener acceso a la zona de estudio.

Al almacenar la información con los trazos, se genera un archivo que no puede ser utilizado directamente en TransCAD®, razón por la cual se requiere transformarlo por medio de otro programa, habiendo utilizado para esta operación el software conocido como Quantum GIS Lisboa; el programa permite manipular las características del archivo con los trazos de las vialidades y almacenarlas como una capa geográfica (Figura 33) con un formato adecuado que permita trabajar con la información en TransCAD®.

No fue posible utilizar el Quantum GIS Lisboa para el análisis de las rutas debido a que al no ser un SIG-T, carece de los algoritmos necesarios para resolver Problemas de Rutas de Vehículos.

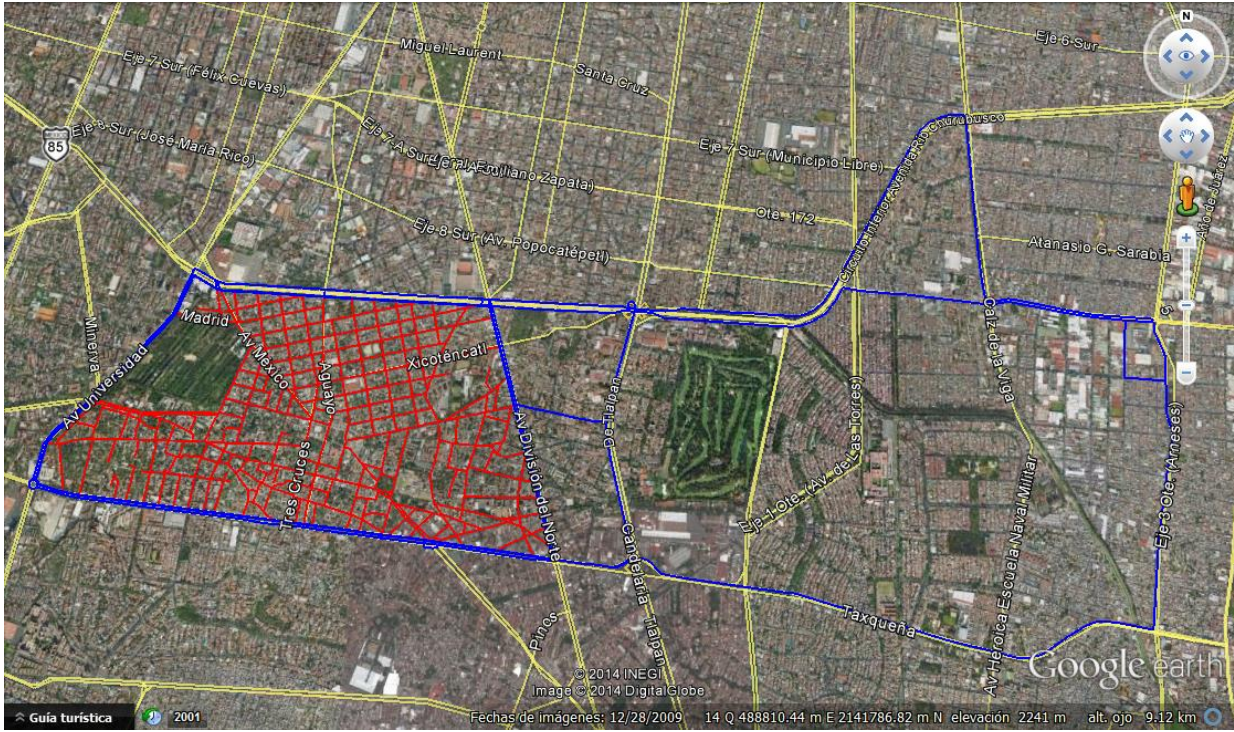


Figura 32 Trazado de la red, incluyendo vías de acceso a la zona de estudio
Fuente: Elaboración propia

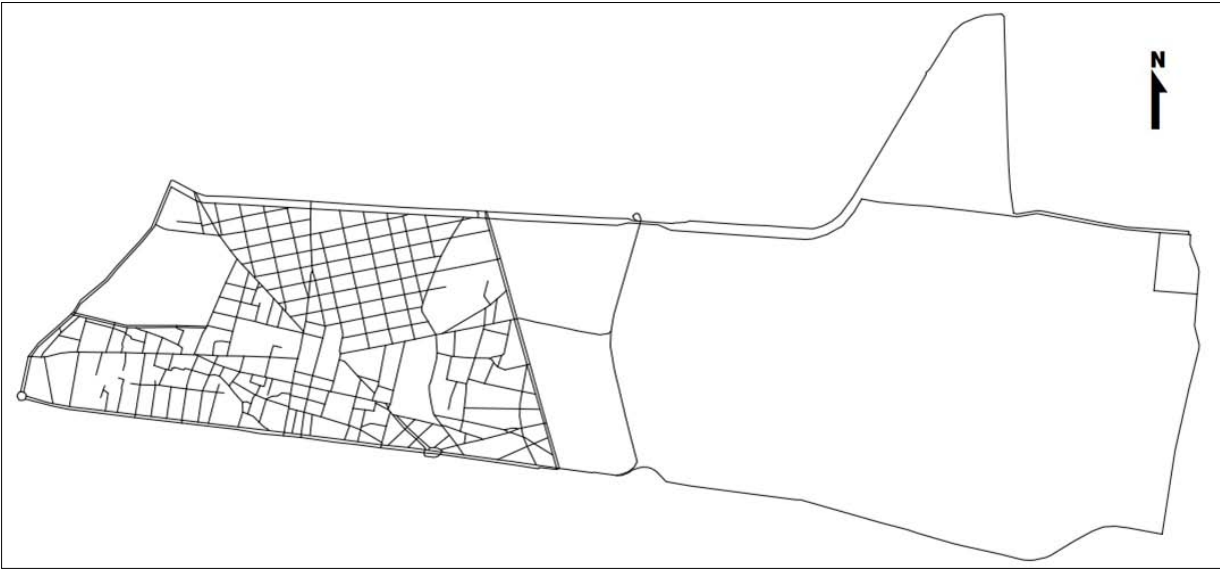


Figura 33 Visualización de la red vial, a través de Quantum GIS Lisboa
Fuente: Elaboración propia

El archivo generado ya puede ser utilizado en TransCAD®; una vez abierto, presenta una capa geográfica de líneas que representa las vialidades, simultáneamente muestra una capa de nodos relacionada con los puntos extremos de cada una de las líneas trazadas.

Los elementos que se encuentran en la capa geográfica de las vialidades cuentan con algunos atributos de los arcos, que fueron determinados desde que se generaron en Google™ Earth, los cuales son:

- Identificador numérico
- Nombre de la vialidad asociada
- Longitud
- Dirección topológica (dirección con la que fueron trazadas)

y que pueden ser visualizados en forma de tabla de atributos mediante la opción *Dataview*.

Al ser una representación nueva de la red vial de la zona de estudio, es decir no proveniente de una versión anterior, fue necesario realizar algunos recorridos en la zona de estudio para verificar los atributos de las vialidades como por ejemplo el sentido de circulación, tipo de pavimentos, número de carriles, etc.

Para modificar la dirección de circulación asignada en la vialidad, se toma como base la dirección topológica; se asigna a la dirección del arco el valor 1 si el sentido de circulación corresponde con la dirección con que se realizó el trazado, el valor -1 cuando el sentido de circulación es inverso al del trazo y 0 si corresponde a un arco con doble sentido de circulación.

También se pueden asignar otros atributos como el tipo de pavimento, tipo de vialidad, velocidad de circulación, etc. mediante la adición de nuevas columnas dentro de la tabla de atributos del *Dataview*, asignando a cada una de ellas el atributo requerido de forma manual. Algunos de los atributos de la red en la zona de estudio se pueden visualizar en las siguientes figuras del Capítulo 2:

- tipos de vialidades en la *Figura 7*,
- tipos de pavimentos en la *Figura 8*, y
- sentido de circulación en las vialidades en la *Figura 9*.

Una vez que se ha generado la capa geográfica con la representación de las vialidades y se han ingresado sus atributos, es necesario verificar la conectividad de la red, es decir, que cada uno de los arcos se encuentren unidos en los nodos, que representan los cruces de vialidades. Al llevar a cabo la operación de unión en los cruces, se genera un nuevo nodo en cada cruce, de esta manera se dividirá el arco original en dos nuevos arcos que compartirán los mismos atributos, excepto el identificador, que será asignado de forma automática por el programa, y la longitud, que será reasignada en función de las dimensiones de cada arco resultante.

Teniendo asignados los atributos característicos de cada uno de los arcos y habiendo verificado la total conectividad en los cruces de las vialidades (*Figura 34*), la red cuenta con la información y formato necesarios para determinar las rutas a utilizar para la distribución.

La información contenida en la tabla de atributos es real casi en su totalidad, el único atributo que contiene una estimación promedio es la velocidad de circulación en cada arco debido a su naturaleza cambiante en el tiempo. La necesidad de incluir datos reales radica en que de esta forma el modelo permitirá obtener resultados más cercanos a lo que sucedería en la realidad.

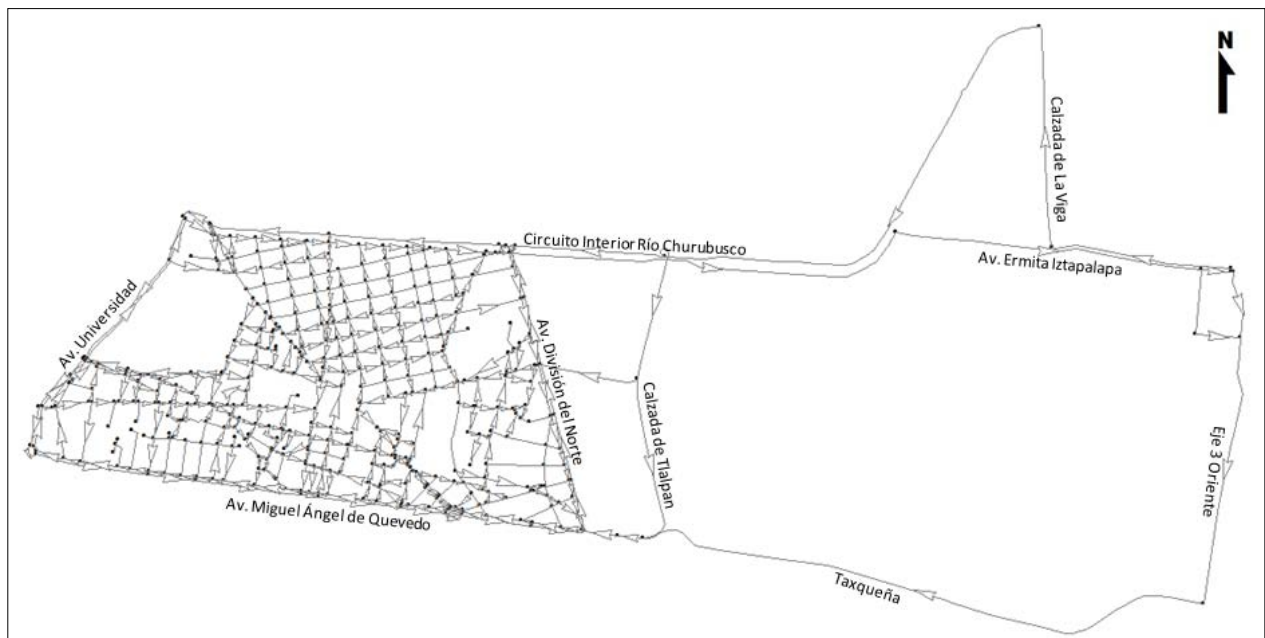


Figura 34 Visualización de la red conectada y con sentidos de circulación
Fuente: Elaboración propia

5.4. Representación de los establecimientos

Después de haber habilitado la red vial, es necesario generar una capa geográfica de puntos que incluya los atributos requeridos para la realización del análisis (Figura 35).

Entre las características que debe incluir se encuentran las siguientes:

- Identificador numérico
- Nombre del establecimiento
- Demanda del producto en el establecimiento
- Tiempo de servicio
- Tiempo de entrega por unidad de carga (por caja solicitada)
- Hora de inicio y término de las ventanas de tiempo.



Figura 35 Representación de los establecimientos en los que se distribuirá el producto
Fuente: Elaboración propia

Una característica importante a tomar en cuenta es el horario en el cual cada establecimiento puede llevar a cabo la recepción de los productos, conocido como ventana de tiempo, debido a que será parte fundamental en la determinación del orden de entrega y de la ruta a seguir.

Debido a que los puntos utilizados para representar la ubicación de los establecimientos en la capa geográfica no cubren el área que ocupa cada uno de ellos y considerando que no todos cuentan con una entrada de servicio por la cual se pueda llevar a cabo la descarga de mercancía, se situaron de forma que representen la ubicación dentro de cada local la cual resulta más adecuada para la realización de las entregas de cerveza (acceso al establecimiento o puerta de servicio), sin que ello represente una alteración significativa para la obtención de las rutas de distribución.

En el Capítulo 2 se puede observar de forma detallada lo siguiente:

- La ubicación y distribución de los establecimientos en la *Figura 25* y *Figura 26* respectivamente, y
- la demanda esperada para de cada uno de ellos en la *Figura 27*.

Es importante señalar que en esta capa geográfica se debe incluir dentro del *Dataview*, independientemente de los atributos ya considerados, una columna adicional en donde se indique el número del nodo, correspondiente a la red, más cercano a cada punto generador de demanda.

5.5.Representación del depósito

En una capa geográfica de puntos diferente se requiere señalar los depósitos desde donde saldrán y al que regresarán los vehículos de reparto. Los atributos necesarios son:

- Identificador numérico
- Nombre del depósito
- Horario de servicio del depósito

Para este problema en particular, solamente se considerará un Centro de Distribución (*Figura 36*).

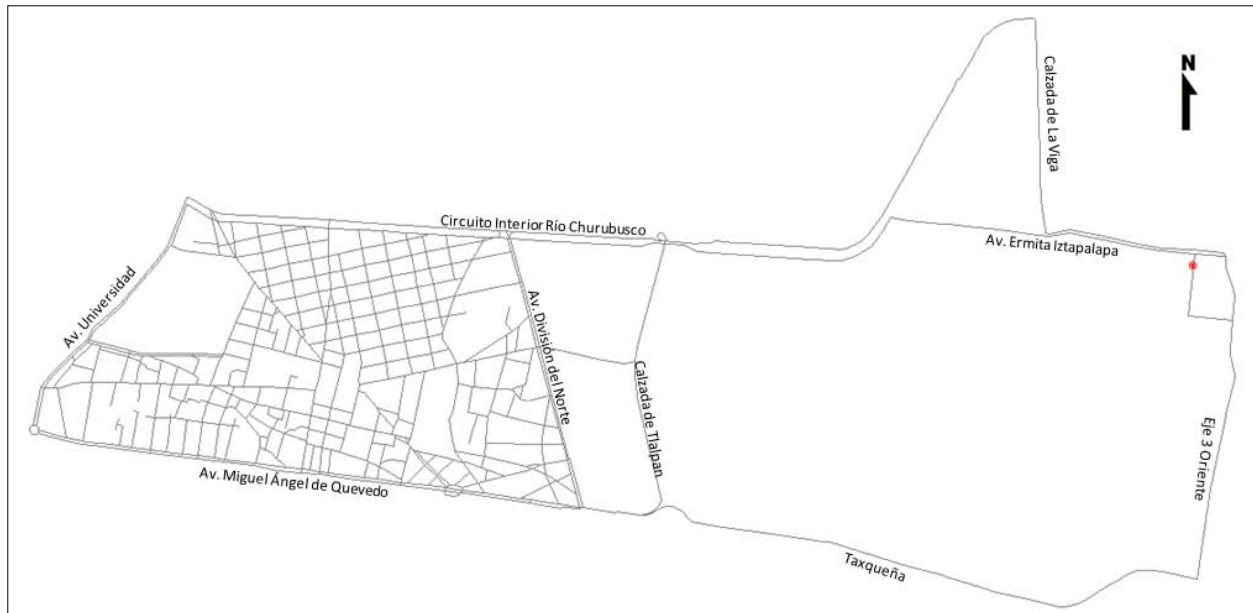


Figura 36 Representación de la ubicación del Centro de Distribución
Fuente: Elaboración propia

Es importante señalar, al igual que para la capa geográfica con la representación de los establecimientos, que se debe incluir dentro del *Dataview*, independientemente de los atributos ya considerados, una columna adicional en donde se indique el número del nodo, correspondiente a la red, más cercano al punto que representa la ubicación del CeDis.

Otro de los elementos que es necesario determinar es el referente a los vehículos, el cual debe incluir los siguientes atributos:

- Identificador del depósito al que están asignados
- Nombre del tipo de vehículo
- Número de vehículos de cada tipo
- Capacidad de cada tipo de vehículo
- Costo asociado a cada tipo de vehículo (compra, renta u operación)

Finalmente, con las capas geográficas anteriormente mencionadas, los elementos y atributos relacionados, se puede dar paso a la generación y análisis de propuestas de rutas para las entregas.

6. ESCENARIOS PARA RUTAS DE DISTRIBUCIÓN DE CERVEZA EN EL CENTRO DE COYOACAN

En el presente capítulo se describen diversos escenarios para la determinación de las rutas, que fueron obtenidos mediante la variación de algunos parámetros, para transportar y distribuir la carga desde el Centro de Distribución (CeDis) hasta cada uno de los clientes.

Se utilizó la opción *Vehicle Routing* del programa TransCAD© para llevar a cabo el análisis del problema de rutas de vehículos, la cual permite considerar características planteadas como las ventanas de tiempo, además de facilitar la inclusión de datos por medio de los archivos generados con la información señalada en los capítulos anteriores.

6.1.Consideraciones para la generación de escenarios

Para el correcto planteamiento del Problema de Ruta de Vehículos, fue necesario realizar las consideraciones que se enuncian a continuación.

Para la red, se debe considerar que no es posible que el vehículo de reparto circule en todas las vialidades que conforman la red debido a limitaciones de los arcos tales como el ancho de vía y el tipo de pavimento, teniendo como resultado la utilización de una red simplificada (*Figura 37*) en la que solo se consideran las vialidades adecuadas.

Para la capa de establecimientos, se llevó a cabo una simplificación al agrupar los puntos generadores de demanda con características en común tales como el nodo de la red más cercano a la ubicación del establecimiento y ventanas de tiempo similares. Los establecimientos que cumplen con las especificaciones anteriores se concentran en un mismo punto de demanda pero se modifican los atributos correspondientes al tiempo de servicio y a la demanda acumulada. En la *Tabla 12*, la primera y segunda columnas muestran los nombres de los establecimientos y la demanda estimada para cada uno de ellos, la tercera columna indica el nombre que le fue asignado al nodo en el que se agrupan los establecimientos con características comunes, la cuarta columna señala la demanda acumulada (total de la demanda de los establecimientos agrupados en cada nodo acumulado), y la quinta y sexta columnas indican la hora de inicio y final de la ventana de tiempo de cada nodo acumulado.

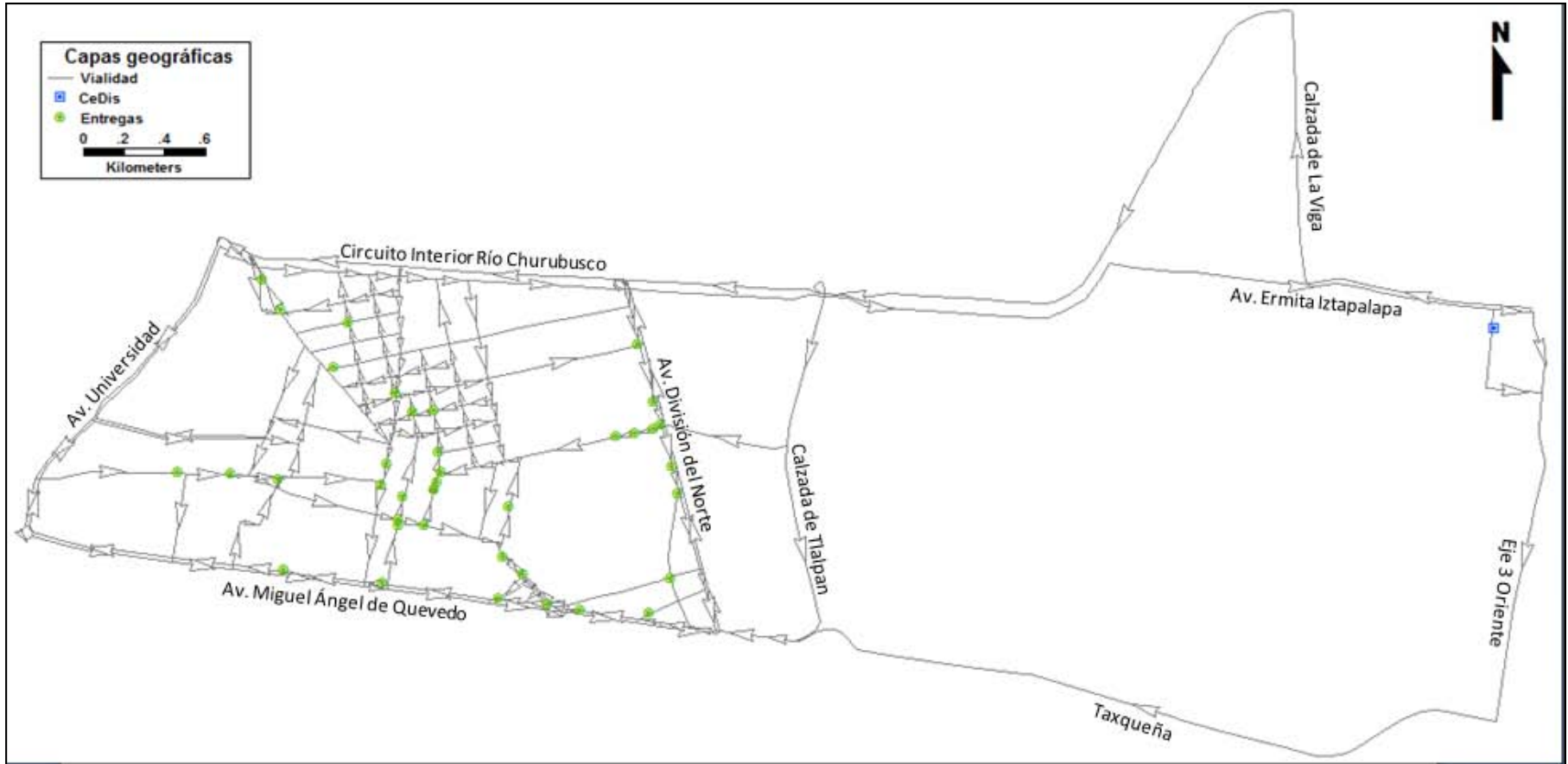


Figura 37 Red simplificada con las consideraciones de puntos de demanda.
Fuente: Elaboración propia

Nombre	Demanda estimada	Nodo acumulado	Demanda acumulada	TWinicio	TWfinal
Asadero 530	4	<i>Potzolcalli</i>	10	900	1200
Potzolcalli	6				
La Bella Lula	4	<i>La Bella Lula</i>	4	900	1200
El Morral	4	<i>El Morral</i>	4	800	1200
Long-Du	4	<i>Long-Du</i>	4	800	1100
André	2	<i>Andre</i>	2	900	1200
Del Parque	3	<i>Del Parque</i>	3	1100	1300
El Gallito	3	<i>El Gallito</i>	3	1200	1400
El Jarocho	3	<i>El Jarocho</i>	3	900	1200
Coyoacán	2	<i>Rey del Taco</i>	5	1200	1400
Rey del Taco	3				
La Tablita	8	<i>La Tablita</i>	8	900	1200
Chester	3	<i>Chester</i>	3	1200	1400
Pause	1	<i>Pause</i>	1	900	1200
Las Lupitas	2	<i>Las Lupitas</i>	4	1000	1200
Catarina	2				
Montmartre	1	<i>Montmartre</i>	1	1000	1200
Alcatraces	1	<i>Alcatraces</i>	1	800	1030
Sheik	1	<i>Manjar</i>	2	800	1030
Manjar	1				
Giacó	3	<i>Giacó</i>	3	900	1100
Encantada	1	<i>Encantada</i>	1	800	1000
Osil	14	<i>Guarapeta</i>	44	1300	1600
Erradero	3				
Guarapeta	12				
Garage	15				
Taco Inn	4	<i>Taco Inn</i>	21	1000	1200
Tacogusto	3				
Quetacoatl	2				
Cebistro	4				
Tucan	4				
Quete	4				

Tabla 12 Lista de nodos equivalentes con demanda y ventanas de tiempo (1/2).
Fuente: Elaboración propia

Nombre	Demanda estimada	Nodo acumulado	Demanda acumulada	TWinicio	TWfinal																																																																																																																										
Cross	10	<i>Bigotes</i>	24	1300	1600																																																																																																																										
Bigotes	14					Esquina	5	<i>Esquina</i>	25	1000	1200	Moheli	4	Rest 1	8	Rest 2	8	Rest 3	10	<i>H Cuervo</i>	30	1300	1600	Hcuervo	20	Fronton	25	<i>Frontón</i>	25	1300	1600	Argentino	2	<i>Argentino</i>	2	800	1100	Capricho	6	<i>Capricho</i>	6	800	1100	Rincon	3	<i>Posta</i>	8	800	1100	Posta	3	Chilpitin	2	Pepecoy	3	<i>Pepecoy</i>	3	1100	1300	Restofabio	2	<i>Morral</i>	15	800	1200	Morral	8	Villa coral	5	Mariscos 1	6	<i>Mariscos</i>	6	900	1200	Arracheras	1	<i>Arracheras</i>	1	1100	1300	Churrascos	6	<i>Churrascos</i>	11	900	1200	La Posta	5	Convento	6	<i>Convento</i>	6	900	1200	De Cortés	6	<i>De Cortés</i>	6	1000	1200	Coyoacana	20	<i>Guadalupana</i>	60	1100	1400	Guadalupana	30	Puesta del Sol	10	Rest 4	2	<i>Rest 4</i>	2	1000	1200	Billar	3	<i>Salamandra</i>	7	900	1100	Salamandra	4	Tacoscent	10
Esquina	5	<i>Esquina</i>	25	1000	1200																																																																																																																										
Moheli	4																																																																																																																														
Rest 1	8																																																																																																																														
Rest 2	8																																																																																																																														
Rest 3	10	<i>H Cuervo</i>	30	1300	1600																																																																																																																										
Hcuervo	20																																																																																																																														
Fronton	25	<i>Frontón</i>	25	1300	1600																																																																																																																										
Argentino	2	<i>Argentino</i>	2	800	1100																																																																																																																										
Capricho	6	<i>Capricho</i>	6	800	1100																																																																																																																										
Rincon	3	<i>Posta</i>	8	800	1100																																																																																																																										
Posta	3																																																																																																																														
Chilpitin	2																																																																																																																														
Pepecoy	3	<i>Pepecoy</i>	3	1100	1300																																																																																																																										
Restofabio	2	<i>Morral</i>	15	800	1200																																																																																																																										
Morral	8																																																																																																																														
Villa coral	5																																																																																																																														
Mariscos 1	6	<i>Mariscos</i>	6	900	1200																																																																																																																										
Arracheras	1	<i>Arracheras</i>	1	1100	1300																																																																																																																										
Churrascos	6	<i>Churrascos</i>	11	900	1200																																																																																																																										
La Posta	5																																																																																																																														
Convento	6	<i>Convento</i>	6	900	1200																																																																																																																										
De Cortés	6	<i>De Cortés</i>	6	1000	1200																																																																																																																										
Coyoacana	20	<i>Guadalupana</i>	60	1100	1400																																																																																																																										
Guadalupana	30																																																																																																																														
Puesta del Sol	10																																																																																																																														
Rest 4	2	<i>Rest 4</i>	2	1000	1200																																																																																																																										
Billar	3	<i>Salamandra</i>	7	900	1100																																																																																																																										
Salamandra	4																																																																																																																														
Tacoscent	10	<i>Tacoscent</i>	10	800	1100																																																																																																																										

Lista de nodos equivalentes con demanda y ventanas de tiempo (2/2).

Fuente: Elaboración propia

El tiempo de servicio se encuentra conformado por el tiempo promedio requerido para estacionar el camión en el lugar donde se llevarán a cabo las maniobras de descarga del producto y carga de los envases vacíos, además del tiempo necesario para el manejo y entrega de cada caja de forma individual así como de la recepción y papeleo correspondiente.

Es importante señalar que cada establecimiento lleva a cabo sus operaciones de recepción de bebidas como mejor le conviene, ya sea antes o después de su horario de atención a clientes, lo que para fines del modelado genera la necesidad de utilizar muchas rutas y tener muchos periodos de tiempo en el que los vehículos de reparto no estarían en circulación o realizarían entregas a clientes fuera de la zona de estudio. No existe regulación oficial alguna que restrinja los horarios para la distribución y recolección de mercancías en la zona a algún tipo de vehículo.

Para determinar las ventanas de tiempo se consideró que algunos establecimientos cuentan con un acceso, para la recepción de mercancías por parte de proveedores, independiente a la entrada para los clientes, por lo que recibir el producto no representa mayor inconveniente mientras tengan la cerveza en el momento que los comensales la soliciten. Existen otros locales que tienen una entrada única, en la que reciben los productos que comercializan y a los comensales usando el mismo acceso, por lo que no es recomendable que la cerveza sea entregada durante el horario de servicio. Lo anterior motivó a considerar el giro y el horario de servicio de los establecimientos, favoreciendo las entregas en horarios de baja demanda o previos a la apertura al público con la finalidad de facilitar la entrega y generar la menor afectación posible a la operación de los establecimientos que no cuentan con accesos para proveedores.

6.2. Escenarios para la generación de rutas

Una vez obtenidas las capas geográficas (o capas temáticas) y realizadas las consideraciones señaladas en el apartado anterior, el siguiente paso en el proceso consiste en determinar los escenarios que serán evaluados y que permitan visualizar las diferentes condiciones bajo las cuales se llevarían a cabo las actividades de entrega de mercancía y recolección de envases vacíos.

Los escenarios generales a considerar para la generación de rutas son los siguientes:

- Generación de rutas de distribución a partir del Centro de Distribución (CeDis).
 - A. Una ruta sin restricciones,
 - B. Dos rutas con restricción de horario,
 - C. Tres rutas, dos matutinas y una vespertina, con restricción de horario, y
 - D. Entregas nocturnas.
- Generación de rutas de distribución a partir de una bodega propuesta.
 - E. Tres rutas, dos matutinas y una vespertina, con restricción de horario, y
 - F. Entregas nocturnas.

Para cada uno de los escenarios generales se consideraron los escenarios particulares siguientes:

1. Minimizando el tiempo de recorrido, y
2. Minimizando la distancia recorrida.

Se señala cada escenario con la letra y el número del escenario general y particular a los que se hace referencia.

De los escenarios planteados, en el primer grupo se considera el inicio de las rutas de reparto desde el Centro de Distribución actual. En los escenarios A1 y A2 solo se utiliza una ruta de reparto sin considerar los horarios de entrega de los establecimientos (ventanas de tiempo), lo que permite tener una idea clara respecto al tiempo y la distancia recorridos en la ruta; en los escenarios B1 y B2 se contemplan las ventanas de tiempo para la generación de las rutas, lo que facilita conocer el tiempo y la distancia de recorrido cuando se considera la restricción de horario; en los escenarios C1 y C2 se agruparon los establecimientos de acuerdo a la ventana de tiempo de cada uno y fueron asignados por horario, matutino y vespertino, lo que permite reducir el tiempo y la distancia de recorrido; en los escenarios D1 y D2 se seleccionaron los establecimientos en los que es posible realizar entregas nocturnas, lo que permite reducir el tiempo de recorrido y el impacto negativo originado por la distribución.

En el segundo grupo se considera el inicio de las rutas de distribución desde una bodega cuya ubicación se propone, además de la utilización de vehículos eléctricos. Con los escenarios E1 y E2 se agrupan los establecimientos de acuerdo a la ventana de tiempo de cada uno, siendo asignados en horarios matutino o vespertino, con lo cual se busca reducir el tiempo y la distancia de recorrido; en los escenarios F1 y F2 se

seleccionaron los establecimientos en los que es posible realizar entregas nocturnas, lo que permite reducir el tiempo de recorrido y el impacto negativo originado por la distribución.

A continuación se describe cada uno de los escenarios y se realizan comparaciones entre ellos.

6.3. Generación de rutas de distribución a partir del Centro de Distribución

Para este conjunto de escenarios se consideró que los vehículos inician su recorrido en el Centro de Distribución (CeDis), ubicado en la calle Cereales casi al cruce con Avenida Ermita Iztapalapa, para cubrir sus respectivas rutas. Los vehículos a utilizar pueden transportar hasta 576 cajas, sin embargo, para fines de cálculo se consideró que se cuenta con una capacidad de carga de 500 cajas.

6.3.1. Distribución a los establecimientos utilizando una ruta sin restricciones

En este escenario se considera lo siguiente: que el reparto se realiza en una sola ruta y con sólo un vehículo, que los establecimientos pueden llevar a cabo la recepción de productos sin restricción de horarios (sin ventanas de tiempo), y que no existe problema de capacidad en el vehículo debido a que la demanda total estimada para los establecimientos es de 374 cajas diarias, lo que es menor que las 500 cajas consideradas como capacidad nominal. Se pretende obtener rutas que minimicen el tiempo o la distancia de recorrido para las entregas.

6.3.1.1. Escenario A1: Distribución utilizando una ruta sin restricciones minimizando el tiempo

En este escenario se busca minimizar el tiempo de recorrido al realizar las entregas sin tomar en cuenta los horarios en los que los establecimientos pueden llevar a cabo la recepción de productos. Se utiliza la opción *Vehicle Routing* del programa de cómputo en donde se indican las capas geográficas a utilizar, siendo las correspondientes a la red vial y a las ubicaciones de los establecimientos y del centro de distribución; igualmente se indica el número, tipo y capacidad de los vehículos considerados y se selecciona la opción que indica que se busca minimizar el tiempo de recorrido en las rutas a generar. Con las condiciones anteriores el programa ejecuta un algoritmo que permite resolver el problema de rutas de vehículos. La mejor ruta que permite reducir el tiempo se muestra en la *Figura 38*.



Figura 38 Ruta que busca minimizar el tiempo de recorrido
Fuente: Elaboración propia

El recorrido inicia en el CeDis al tomar la calle Cereales, dobla a la derecha en la Calzada Ermita Iztapalapa y da vuelta en “U” en el retorno que se encuentra bajo el puente que atraviesa el Eje 3 Oriente, continúa sobre la misma calzada hasta llegar al cruce con Calzada de la Viga, dobla a la derecha y continúa hasta llegar al Circuito Interior Río Churubusco en donde dobla a la izquierda; al llegar a la Avenida División del Norte da vuelta a la izquierda y continúa hasta llegar al cruce con Xicoténcatl en donde realiza la primera entrega en el restaurante Chester.

Continúa circulando sobre División del Norte hasta llegar al restaurante La Tablita, en donde realiza otra entrega, sigue con el recorrido sobre la misma avenida hasta llegar al cruce con Pennsylvania, en donde entrega en los establecimientos El Gallito y El Jarocho, posteriormente da vuelta en “U” para retornar sobre División del Norte hasta Avenida Miguel Hidalgo en donde dobla a la izquierda, en este punto entrega en el Rey del Taco. A lo largo de esta avenida realiza entregas en los restaurantes Argentino, Capricho y Posta respectivamente, posteriormente dobla a la izquierda en las calles Vallarta, llegando a Venustiano Carranza y posteriormente al llegar a Fernández Leal, en donde entrega en el restaurante De Cortés, continúa hasta dar vuelta a la izquierda en Avenida Miguel Hidalgo, volviendo a doblar a la izquierda en Vallarta y posteriormente volver a dar vuelta al llegar a Venustiano Carranza, al llegar a Fernández Leal da vuelta a la derecha, para realizar la entrega en el restaurante El Convento y continúa sobre Pacífico en donde entrega en Churrascos.

Posteriormente avanza hasta llegar a Miguel Ángel de Quevedo, en donde da vuelta para incorporarse a la calle América, al llegar al cruce con Pennsylvania dobla a la derecha y entrega en el restaurante Del Parque; al llegar al cruce con Inglaterra da vuelta a la derecha y entrega en el restaurante André, y continúa hasta que se incorpora a Miguel Ángel de Quevedo.

En Miguel Ángel de Quevedo realiza entregas en los restaurantes Long Du, Arracheras, El Morral, Bella Luna y Potzolcalli, y continúa hasta llegar al cruce con Avenida Universidad, en donde da vuelta a la derecha; al llegar al cruce se incorpora a Francisco Sosa y sobre esta calle realiza entregas en los restaurantes Pause, Las Lupitas y Montmartre. Continúa por Francisco Sosa y al llegar a Centenario dobla a la derecha hasta llegar a Venustiano Carranza en donde da vuelta; al llegar a Carrillo Puerto dobla a la izquierda y realiza una entrega en el bar Bigotes, continúa avanzando hasta la calle Malitzin en donde da vuelta a la izquierda, al llegar a Centenario vuelve a doblar a la izquierda, y sobre esta vialidad realiza entregas en los bares Hijo del Cuervo y La Esquina; al llegar a Venustiano Carranza dobla a la izquierda y al llegar al cruce con Carrillo Puerto realiza entregas en los establecimientos de Guarapeta y Taco Inn, continúa hasta llegar al cruce con Caballo Calco en donde entrega en el bar Salamandra, posteriormente da vuelta a la izquierda y realiza entregas en el restaurante 4, y se detiene en el cruce con Avenida Hidalgo en donde realiza entregas en la Guadalupana y en la taquería Pepe Coyote, continúa sobre la calle Ignacio Allende hasta el cruce con Moctezuma en donde realiza una entrega en El Morral, continuando por Allende hasta llegar a Malitzin en donde entrega en los Mariscos, da vuelta a la izquierda y en el cruce con Carrillo Puerto entrega en el bar El Frontón.

Posteriormente continúa hasta llegar a Avenida México en donde da vuelta a la derecha, en el siguiente cruce se incorpora a Guerrero para doblar a la derecha en Xicoténcatl, al llegar a Centenario da vuelta a la izquierda para incorporarse en Aldama, ahí realiza una entrega en los tacos Centenario y continúa hasta llegar a Londres, en donde da vuelta a la izquierda hasta llegar casi al cruce con Avenida México en donde realiza una entrega en el restaurante Giaco, da vuelta en "U" continuando hasta Guerrero, en donde dobla a la izquierda y en el cruce con Viena entrega en el restaurante Encantada continuando sobre Guerrero hasta llegar al cruce con Madrid en donde da vuelta a la izquierda; al llegar al cruce con Avenida México dobla a la derecha y entrega en el restaurante Manjar, continuando sobre Avenida México y casi al llegar al Circuito Interior Río Churubusco realiza la última entrega en el restaurante Alcatraces.

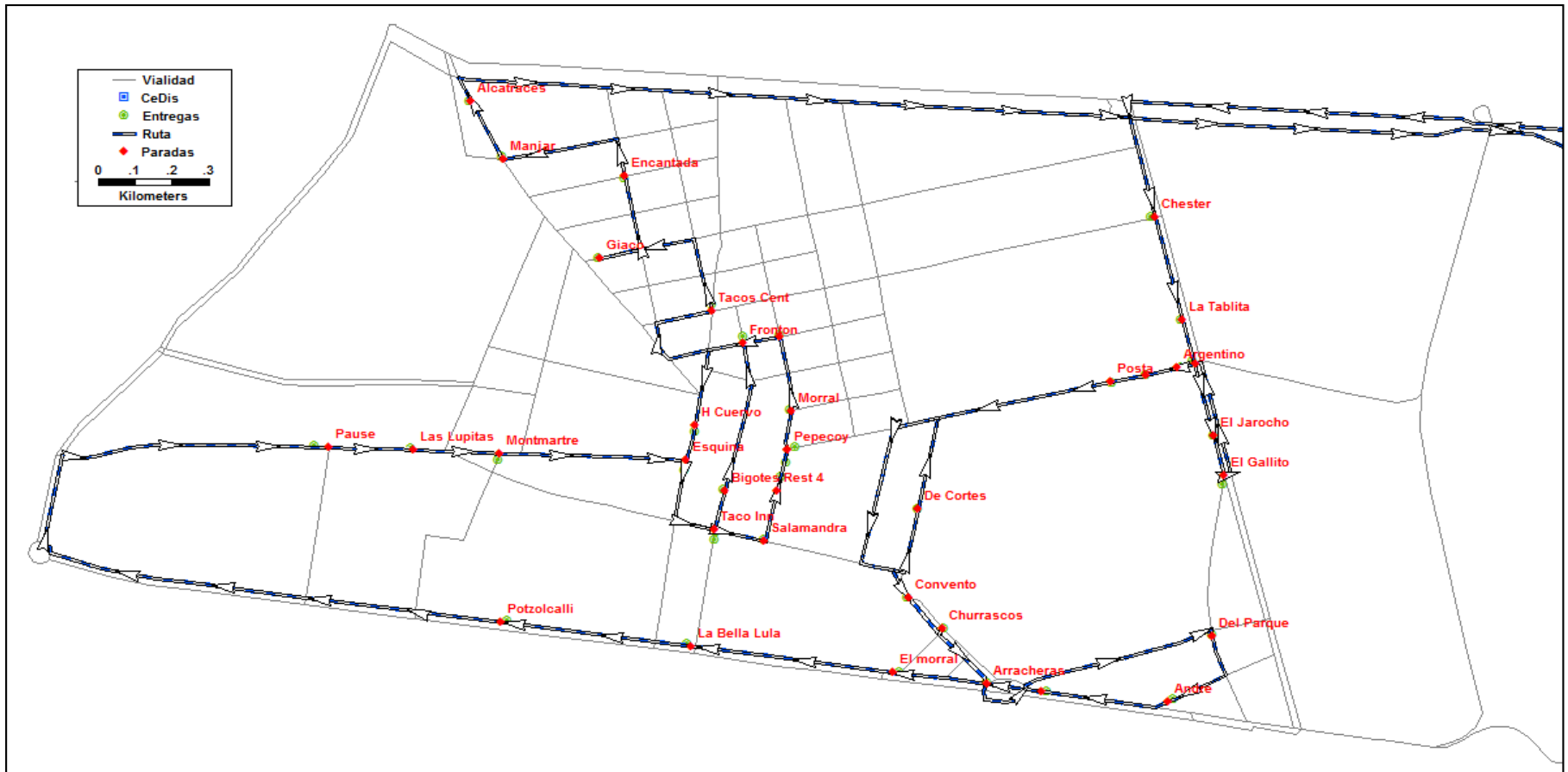


Figura 39 Acercamiento de la zona de estudio con el recorrido que busca minimizar el tiempo
Fuente: Elaboración propia

Itinerary Report				
Route # : 1		Tot Time: 9:34		Capacity : 500.0
Veh. Type: 1		Tot Dist: 27.0		Depart Load: 374.0
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	CeDis	8:28am		
1	Chester	9:00am- 9:07am	6.9	3.0
2	La Tablita	9:09am- 9:18am	0.2	8.0
3	El Gallito	9:20am- 9:27am	0.4	3.0
4	El Jarocho	9:28am- 9:35am	0.1	3.0
5	El Rey del Taco	9:36am- 9:47am	0.2	5.0
6	Argentino	9:48am- 9:54am	0.0	2.0
7	Capricho	9:55am-10:03am	0.0	6.0
8	Posta	10:03am-10:16am	0.0	8.0
9	De Cortes	10:22am-10:30am	1.2	6.0
10	Convento	10:35am-10:43am	0.9	6.0
11	Churrascos	10:44am-10:57am	0.1	11.0
12	Del Parque	11:02am-11:09am	0.9	3.0
13	Andre	11:10am-11:17am	0.2	2.0
14	Long Du	11:18am-11:26am	0.3	4.0
15	Arracheras	11:26am-11:33am	0.1	1.0
16	El morral	11:34am-11:41am	0.2	4.0
17	La Bella Lulá	11:43am-11:50am	0.5	4.0
18	Potzolcalli	11:52am-12:08pm	0.5	10.0
19	Pause	12:18pm-12:24pm	2.2	1.0
20	Las Lupitas	12:25pm-12:37pm	0.2	4.0
21	Montmartre	12:38pm-12:44pm	0.2	1.0
22	Bigotes	12:49pm- 1:12pm	0.8	24.0
23	H Cuervo	1:16pm- 1:41pm	0.7	30.0
24	Esquina	1:41pm- 2:04pm	0.1	25.0
25	Guarapeta	2:06pm- 2:41pm	0.2	44.0
26	Taco Inn	2:41pm- 3:03pm		21.0
27	Salamandra	3:03pm- 3:15pm	0.1	7.0
28	Rest 4	3:16pm- 3:23pm	0.1	2.0
29	Guadalupana	3:23pm- 4:03pm	0.1	60.0
30	Pepecoy	4:03pm- 4:10pm		3.0
31	Morral	4:11pm- 4:26pm	0.1	15.0
32	Mariscos	4:27pm- 4:35pm	0.2	6.0
33	Fronton	4:36pm- 4:54pm	0.1	25.0
34	Tacos Cent	4:56pm- 5:05pm	0.4	10.0
35	Giacó	5:07pm- 5:14pm	0.4	3.0
36	Encantada	5:16pm- 5:22pm	0.3	1.0
37	Manjar	5:24pm- 5:31pm	0.4	2.0
38	Alcatraces	5:32pm- 5:38pm	0.1	1.0
	END CeDis	6:03pm	6.2	
Total			27.0	374.0

Figura 40 Itinerario para la minimización del tiempo de recorrido
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, emprende el regreso al CeDis al dar vuelta a la derecha para incorporarse al Circuito Interior Río Churubusco, al llegar a Avenida Ermita Iztapalapa da vuelta a la derecha hasta el cruce con la calle Cereales en donde dobla a la derecha hasta encontrar la entrada del Centro de Distribución.

La ruta descrita, que se puede observar con mayor detalle en la *Figura 39*, permite cubrir la demanda total de la zona de estudio en un tiempo de 9 horas 34 minutos, recorriendo una distancia total de 27 kilómetros, y habiendo entregado un total de 374 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado de la *Figura 40* que incluye los horarios y características de entrega considerados.

6.3.1.2. Escenario A2: Distribución utilizando una ruta sin restricciones minimizando la distancia

En este escenario se busca minimizar la distancia recorrida al realizar las entregas sin tomar en cuenta los horarios en los que los establecimientos pueden llevar a cabo la recepción de productos. La mejor ruta para reducir la distancia recorrida se muestra en la *Figura 41*.



Figura 41 Recorrido que busca minimizar la distancia
Fuente: Elaboración propia

El recorrido inicia en el CeDis y se lleva a cabo esencialmente de manera similar al recorrido planteado para el escenario A1. La diferencia entre ambas rutas radica en el recorrido que sigue el vehículo desde que realiza la entrega en los tacos Centenario hasta que llega al restaurante Giaco, siendo que en el presente escenario una vez que se lleva a cabo la entrega en los tacos Centenario continúa por Aldama hasta llegar a la calle París, en donde da vuelta a la izquierda y continúa hasta llegar al cruce con Guerrero dando vuelta a la derecha, en la calle de Londres da vuelta a la izquierda avanzando hasta llegar casi al cruce con Avenida México, ahí realiza la entrega en el restaurante Giaco.

En el escenario A1, una vez que se lleva a cabo la entrega en la taquería Centenario continúa avanzando por Aldama hasta llegar a la calle Londres, en donde da vuelta a la izquierda y continúa hasta llegar casi al cruce con Avenida México, ahí entrega en el restaurante Giaco.

La ruta descrita, que se puede observar con mayor detalle en la *Figura 43*, permite cubrir la demanda total de la zona de estudio en un tiempo de 9 horas 35 minutos recorriendo una distancia total de 27 kilómetros, habiendo entregado un total de 374 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 42*), que incluye los horarios y características de entrega considerados.

Itinerary Report				
Route # : 1		Tot Time: 9:35		Capacity : 500.0
Veh. Type: 1		Tot Dist: 27.0		Depart Load: 374.0
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	CeDis	8:28am		
1	Chester	9:00am- 9:07am	6.9	3.0
2	La Tablita	9:09am- 9:18am	0.2	8.0
3	El Jarocho	9:20am- 9:27am	0.3	3.0
4	El Gallito	9:27am- 9:34am	0.1	3.0
5	El Rey del Taco	9:36am- 9:48am	0.3	5.0
6	Argentino	9:48am- 9:55am	0.0	2.0
7	Capricho	9:55am-10:03am	0.0	6.0
8	Posta	10:04am-10:16am	0.0	8.0
9	De Cortes	10:23am-10:31am	1.2	6.0
10	Convento	10:35am-10:43am	0.9	6.0
11	Churrascos	10:44am-10:58am	0.1	11.0
12	Del Parque	11:03am-11:10am	0.9	3.0
13	Andre	11:11am-11:18am	0.2	2.0
14	Long Du	11:19am-11:26am	0.3	4.0
15	Arracheras	11:27am-11:33am	0.1	1.0
16	El morral	11:34am-11:42am	0.2	4.0
17	La Bella Lula	11:43am-11:51am	0.5	4.0
18	Potzolcalli	11:53am-12:08pm	0.5	10.0
19	Pause	12:18pm-12:25pm	2.2	1.0
20	Las Lupitas	12:26pm-12:37pm	0.2	4.0
21	Montmartre	12:38pm-12:45pm	0.2	1.0
22	Esquina	12:47pm- 1:10pm	0.5	25.0
23	Taco Inn	1:12pm- 1:34pm	0.2	21.0
24	Guarapeta	1:34pm- 2:08pm		44.0
25	Bigotes	2:09pm- 2:32pm	0.1	24.0
26	H Cuervo	2:36pm- 3:01pm	0.7	30.0
27	Salamandra	3:04pm- 3:16pm	0.5	7.0
28	Rest 4	3:17pm- 3:23pm	0.1	2.0
29	Pepecoy	3:24pm- 3:31pm	0.1	3.0
30	Guadalupana	3:31pm- 4:11pm		60.0
31	Morral	4:12pm- 4:27pm	0.1	15.0
32	Mariscos	4:28pm- 4:36pm	0.2	6.0
33	Fronton	4:36pm- 4:54pm	0.1	25.0
34	Tacos Cent	4:57pm- 5:06pm	0.4	10.0
35	Giacó	5:08pm- 5:15pm	0.4	3.0
36	Encantada	5:16pm- 5:23pm	0.3	1.0
37	Manjar	5:25pm- 5:32pm	0.3	2.0
38	Alcatraces	5:33pm- 5:39pm	0.1	1.0
	END CeDis	6:04pm	6.2	
Total			27.0	374.0

Figura 42 Itinerario para la minimización de la distancia recorrida

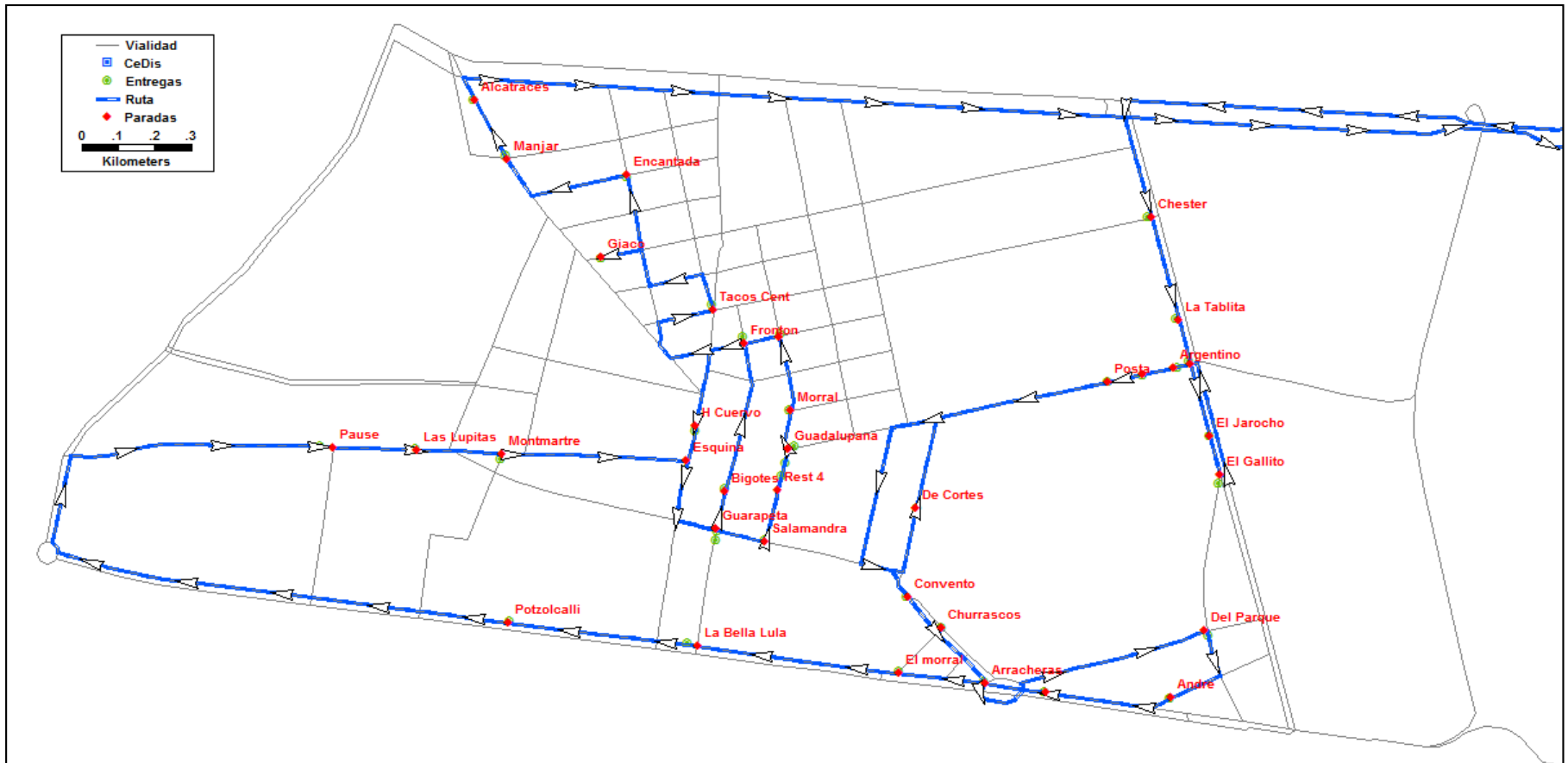


Figura 43 Acercamiento de la zona de estudio con el recorrido que busca minimizar la distancia
Fuente: Elaboración propia

6.3.1.3. Comparación de escenarios que buscan minimizar el tiempo y la distancia

Al realizar la comparación entre las rutas obtenidas de los escenarios A1 y A2 (Tabla 13), se observa que la distancia recorrida en ambas rutas es prácticamente la misma (diferencia menor a 100 metros), y si se considera respecto al tiempo de recorrido, la ruta obtenida en el escenario A1 es la que ofrece un mejor tiempo aún cuando la variación existente entre escenarios es de hasta un minuto, lo que no representa una diferencia considerable entre los recorridos de ambas rutas.

Escenario	Ruta	Tiempo de recorrido (h)	Distancia recorrida (km)	Producto entregado (cajas)
Minimizar tiempo (A1)	1	09:34	27.0	374
Minimizar distancia (A2)	1	09:35	27.0	374

Tabla 13 Resultados de la utilización de una ruta sin considerar ventanas de tiempo
Fuente: Elaboración propia

Es importante señalar que la duración de la ruta en ambos escenarios excede las 8 horas de trabajo establecidas en la legislación federal, además de que no contempla situaciones como periodos de descanso o alimentación, paradas para ir al baño, etc., por lo tanto se hace evidente la necesidad de plantear diferentes escenarios que permitan reducir la duración de los recorridos y de esta forma cumplir con la legislación.

6.3.2. Distribución a los establecimientos utilizando dos rutas con restricción de horario

En estos escenarios se considera lo siguiente: que la entrega de productos se realiza mediante dos rutas y con un vehículo para cada una de ellas, que los establecimientos pueden llevar a cabo la recepción de los productos solo en los horarios establecidos (ventanas de tiempo), y que no existe problema de capacidad en los vehículos debido a que la demanda total estimada para los establecimientos es de 374 cajas diarias, lo que es menor que las 500 cajas consideradas como capacidad nominal. Se pretende obtener rutas que minimicen el tiempo o la distancia de recorrido para las entregas. No hay una distinción de las rutas por tipo de establecimiento o por turno, dado que lo único que se busca es cumplir con las ventanas de tiempo.

6.3.2.1. Escenario B1: Distribución utilizando dos rutas con restricciones de horario minimizando el tiempo

En este escenario se busca minimizar el tiempo de recorrido al llevar a cabo las entregas, considerando para ello los horarios en los que los establecimientos pueden llevar a cabo la recepción de productos.

Las mejores rutas para reducir el tiempo de recorrido son las que se muestran en la *Figura 44*. Las rutas inician en el CeDis; el vehículo asignado a la primera ruta llega por el Norte a la zona de estudio e ingresa a ella por la calle Centenario, el vehículo que recorre la segunda ruta ingresa a la zona de estudio por la Avenida Miguel Hidalgo y llega a ella por el Sur.

Una vez que los vehículos han ingresado a la zona de estudio, llevan a cabo los recorridos y realizan las entregas en los lugares especificados; las rutas se pueden observar con mayor detalle en la *Figura 45*. Finalmente, los vehículos asignados a la primera y segunda rutas salen de la zona de estudio por la calle Abasolo y por la avenida División del Norte respectivamente para regresar al CeDis, en donde terminan sus recorridos.



Figura 44 Recorridos que buscan minimizar el tiempo mediante dos rutas
Fuente: Elaboración propia

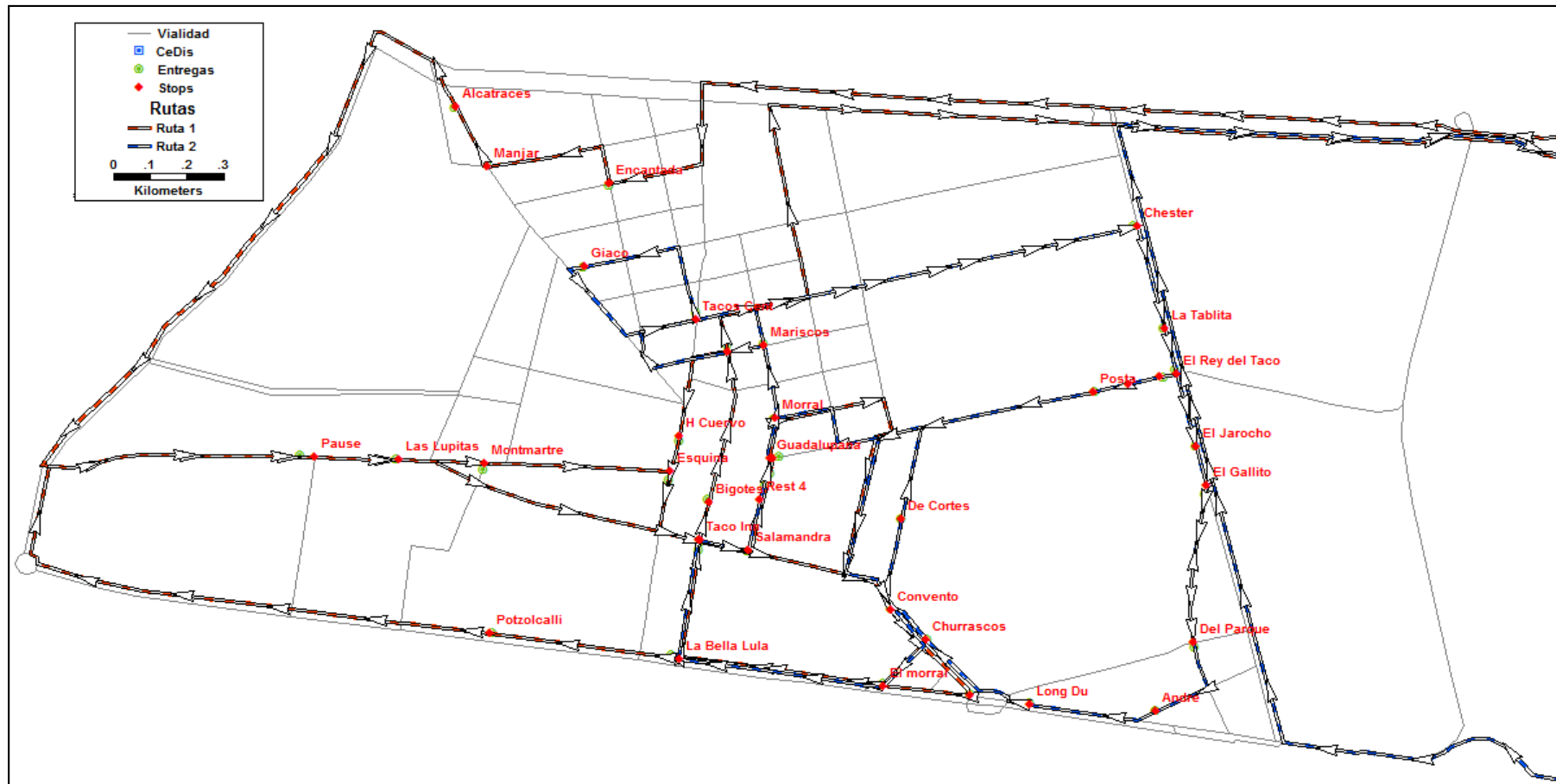


Figura 45 Acercamiento de la zona de estudio con los recorridos que buscan minimizar el tiempo mediante dos rutas
Fuente: Elaboración propia

La primera ruta permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 8 horas 10 minutos, recorriendo una distancia total de 28.5 kilómetros, y se realizan entregas por un total de 189 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (Figura 46) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

La segunda ruta permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 5 horas 46 minutos, recorriendo una distancia total de 24.6 kilómetros, entregando un total de 185 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (Figura 47) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
Route # : 1		Tot Time: 8:10	Capacity : 500.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 28.5	Depart Load: 189.0	
CeDis		7:00am		
1	Encantada	7:36am- 8:06am	8.2	1.0
2	Manjar	8:08am- 8:15am	0.4	2.0
3	Alcatraces	8:16am- 8:22am	0.1	1.0
4	Pause	8:34am- 9:06am	2.5	1.0
5	Convento	9:15am- 9:23am	1.6	6.0
6	Churrascos	9:23am- 9:37am	0.1	11.0
7	Potzoicalli	9:42am- 9:57am	1.2	10.0
8	Las Lupitas	10:09am-10:20am	2.4	4.0
9	Montmartre	10:21am-10:27am	0.2	1.0
10	Esquina	10:30am-10:53am	0.5	25.0
11	Pepcoy	10:57am-11:07am	0.6	3.0
12	Arracheras	11:15am-11:21am	1.4	1.0
13	H Cuervo	11:30am- 1:25pm	1.9	30.0
14	Guarapeta	1:27pm- 2:02pm	0.3	44.0
15	Bigotes	2:02pm- 2:25pm	0.1	24.0
16	Fronton	2:28pm- 2:46pm	0.4	25.0
END CeDis		3:10pm	6.2	
Total			28.5	189.0

Figura 46 Itinerario de la primera ruta para la minimización del tiempo de recorrido

Route # : 2		Tot Time: 5:46		Capacity : 500.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 24.6		Depart Load: 185.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery	
	CeDis	7:29am			
1	Argentino	8:00am- 8:07am	7.2	2.0	
2	Capricho	8:07am- 8:15am	0.0	6.0	
3	Posta	8:15am- 8:28am	0.0	8.0	
4	Morra1	8:33am- 8:48am	0.9	15.0	
5	Tacos Cent	8:52am- 9:01am	0.7	10.0	
6	Giacó	9:03am- 9:10am	0.4	3.0	
7	La Tablita	9:20am- 9:29am	1.9	8.0	
8	El Jarocho	9:31am- 9:38am	0.3	3.0	
9	Andre	9:42am- 9:49am	0.8	2.0	
10	Long Du	9:50am- 9:57am	0.3	4.0	
11	De Cortes	10:01am-10:09am	0.7	6.0	
12	El morra1	10:15am-10:23am	1.1	4.0	
13	La Bella Lula	10:25am-10:32am	0.5	4.0	
14	Taco Inn	10:34am-10:56am	0.3	21.0	
15	Salamandra	10:56am-11:08am	0.1	7.0	
16	Rest 4	11:09am-11:16am	0.1	2.0	
17	Guadalupana	11:17am-11:56am	0.1	60.0	
18	Mariscos	11:58am-12:06pm	0.3	6.0	
19	Chester	12:12pm-12:19pm	1.1	3.0	
20	El Rey del Taco	12:21pm-12:33pm	0.4	5.0	
21	Del Parque	12:37pm-12:44pm	0.7	3.0	
22	El Gallito	12:46pm-12:53pm	0.4	3.0	
	END CeDis	1:15pm	5.4		
	Total		24.6	185.0	

Figura 47 Itinerario de la segunda ruta para la minimización del tiempo de recorrido

6.3.2.2. Escenario B2: Distribución utilizando dos rutas con restricciones de horario minimizando la distancia recorrida

En este escenario se busca minimizar la distancia recorrida al llevar a cabo las entregas, tomando en cuenta para ello los horarios en los que los establecimientos pueden llevar a cabo la recepción de productos.

Las mejores rutas para reducir la distancia recorrida se muestran en la *Figura 48*. Las rutas inician en el CeDis; el vehículo asignado a la primera ruta llega a la zona de estudio por el Sur e ingresa a ella por la Avenida Miguel Hidalgo, el vehículo que recorre la segunda ruta llega también por el Sur a la zona de estudio e ingresa a ella por la calle Pennsylvania.

Una vez que los vehículos han ingresado a la zona de estudio, llevan a cabo los recorridos y realizan las entregas en los lugares especificados; las rutas se pueden observar con mayor detalle en la *Figura 49*.

Finalmente, los vehículos asignados a la primera y segunda rutas salen de la zona de estudio por la avenida División del Norte para regresar al CeDis, en donde concluyen sus recorridos.

La primera ruta permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 8 horas 11 minutos, recorriendo una distancia total de 23.4 kilómetros, y se realizan entregas por un total de 260 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (Figura 50) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

La segunda ruta permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 4 horas 46 minutos, recorriendo una distancia total de 22.9 kilómetros, habiendo realizado entregas por un total de 114 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (Figura 51) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

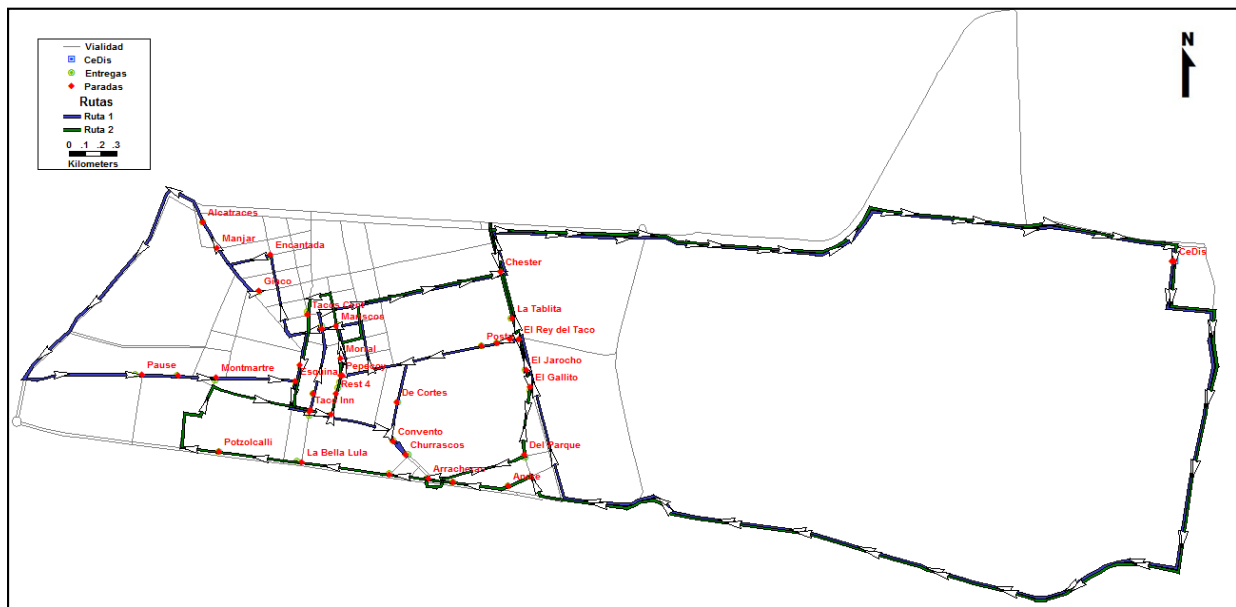


Figura 48 Recorridos que buscan minimizar la distancia mediante dos rutas
Fuente: Elaboración propia

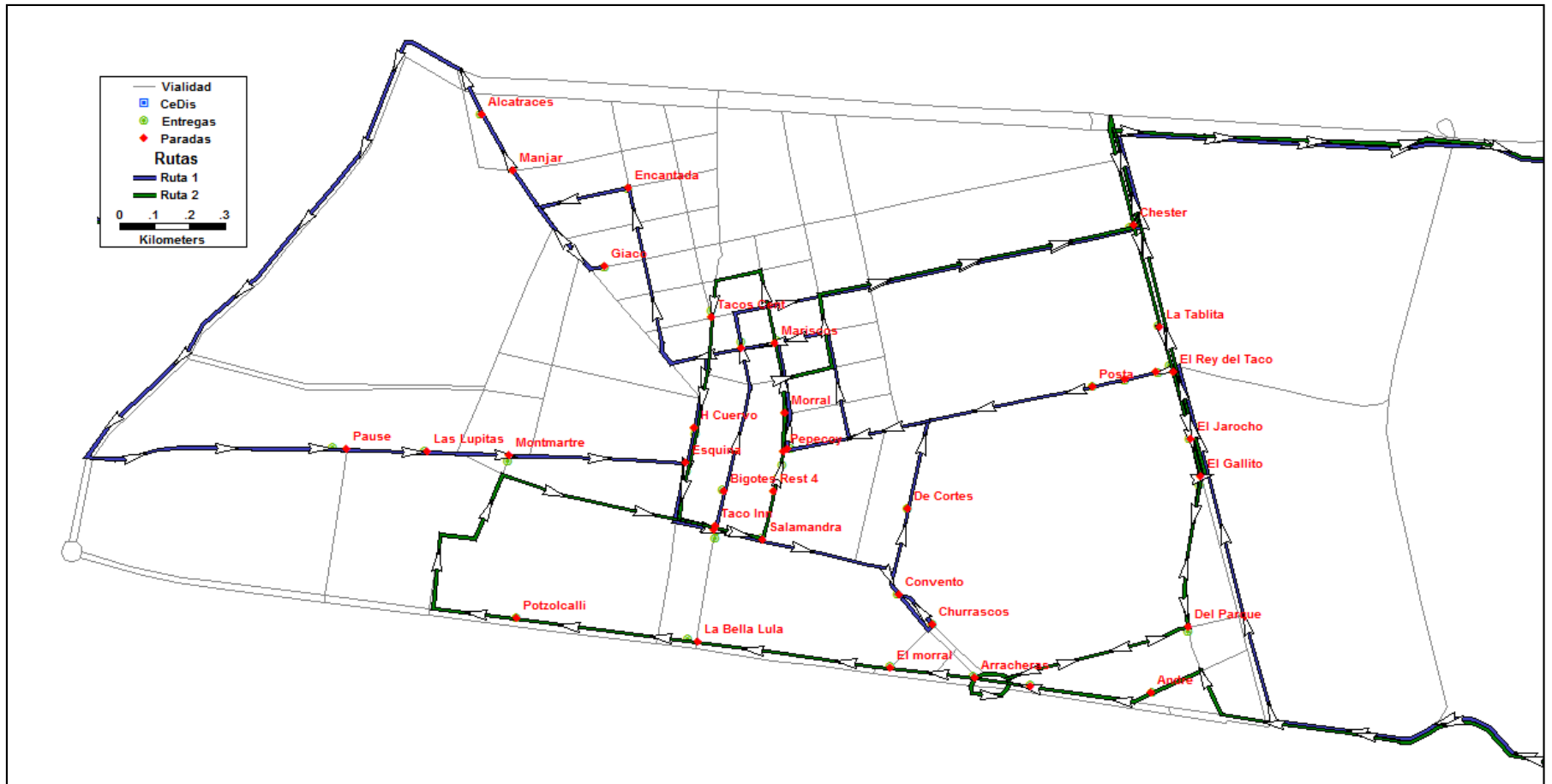


Figura 49 Acercamiento de la zona de estudio con los recorridos que buscan minimizar la distancia mediante dos rutas
Fuente: Elaboración propia

Route # : 1		Tot Time: 8:11	Capacity : 500.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 23.4	Depart Load: 260.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	CeDis	7:00am		
1	Argentino	7:32am- 8:07am	7.1	2.0
2	Capricho	8:07am- 8:15am	0.0	6.0
3	Posta	8:15am- 8:28am	0.0	8.0
4	Encantada	8:37am- 8:44am	1.9	1.0
5	Giacó	8:47am- 9:07am	0.5	3.0
6	Manjar	9:09am- 9:16am	0.3	2.0
7	Alcatraces	9:17am- 9:23am	0.1	1.0
8	Pause	9:35am- 9:42am	2.5	1.0
9	Las Lupitas	9:43am-10:11am	0.2	4.0
10	Montmartre	10:12am-10:19am	0.2	1.0
11	Esquina	10:21am-10:44am	0.5	25.0
12	Churrascos	10:50am-11:03am	0.9	11.0
13	Convento	11:04am-11:12am	0.1	6.0
14	De Cortes	11:13am-11:21am	0.2	6.0
15	Guadalupana	11:25am-12:05pm	0.6	60.0
16	H Cuervo	12:09pm- 1:25pm	0.7	30.0
17	Guarapeta	1:27pm- 2:02pm	0.3	44.0
18	Bigotes	2:02pm- 2:25pm	0.1	24.0
19	Fronton	2:28pm- 2:46pm	0.4	25.0
	END CeDis	3:11pm	5.9	
Total			23.4	260.0

Figura 50 Itinerario de la primera ruta para la minimización de la distancia recorrida

Route # : 2		Tot Time: 4:46		Capacity : 500.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 22.9		Depart Load: 114.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery	
	CeDis	8:31am			
1	Andre	9:00am- 9:07am	6.5	2.0	
2	Long Du	9:08am- 9:15am	0.3	4.0	
3	El morral	9:17am- 9:24am	0.4	4.0	
4	La Bella Lula	9:26am- 9:33am	0.5	4.0	
5	Potzolcalli	9:36am- 9:51am	0.5	10.0	
6	Salamandra	9:58am-10:10am	1.4	7.0	
7	Morral	10:12am-10:27am	0.3	15.0	
8	Mariscos	10:28am-10:36am	0.2	6.0	
9	Tacos Cent	10:40am-10:49am	0.4	10.0	
10	Taco Inn	10:53am-11:15am	0.6	21.0	
11	Rest 4	11:16am-11:23am	0.2	2.0	
12	Pepecoy	11:23am-11:30am	0.1	3.0	
13	La Tablita	11:39am-11:49am	1.7	8.0	
14	El Jarocho	11:51am-11:58am	0.3	3.0	
15	Del Parque	12:00pm-12:07pm	0.5	3.0	
16	Arracheras	12:10pm-12:17pm	0.6	1.0	
17	El Gallito	12:22pm-12:29pm	1.1	3.0	
18	El Rey del Taco	12:32pm-12:43pm	0.3	5.0	
19	Chester	12:52pm-12:59pm	1.6	3.0	
	END CeDis	1:18pm		4.7	
Total			22.9	114.0	

Figura 51 Itinerario de la segunda ruta para la minimización de la distancia recorrida

6.3.2.3. Comparación de escenarios que buscan minimizar el tiempo y la distancia

Al agrupar los resultados y realizar la comparación entre ambos escenarios (*Tabla 14*), se tiene que para el escenario B1 el tiempo de recorrido total es de 13 horas 56 minutos y la distancia recorrida total es de 53.1 km, mientras que para el escenario B2 el tiempo total es de 12 horas 57 minutos y la distancia recorrida es de 46.3 km. Se observa que las rutas del escenario B2 ofrecen mejores resultados en ambos rubros, logrando mejorar el tiempo de recorrido aún cuando su objetivo es minimizar la distancia. En lo referente a las cajas entregadas, el escenario B1 es el que tiene rutas mejor balanceadas.

Es importante considerar que la duración de una de las rutas obtenidas para ambos escenarios excede las 8 horas de trabajo establecidas en la legislación federal, además de que no contempla situaciones como periodos de descanso o alimentación, paradas para ir al baño, etc., por lo tanto es necesario plantear

nuevos escenarios que permitan reducir la duración de las rutas y continuar considerando los horarios establecidos para la realización de las entregas.

Escenario	Ruta	Tiempo de recorrido (h)	Distancia recorrida (km)	Producto entregado (cajas)
Minimizar tiempo (B1)	1	08:10	28.5	189
	2	05:46	24.6	185
Minimizar distancia (B2)	1	08:11	23.4	260
	2	04:46	22.9	114

Tabla 14 Resultados de la utilización de dos rutas considerando ventanas de tiempo
Fuente: Elaboración propia

6.3.3. Distribución a los establecimientos utilizando tres rutas, dos matutinas y una vespertina, con restricción de horario

En estos escenarios se considera lo siguiente: que la entrega de productos se realiza mediante tres rutas y con un vehículo para cada una de ellas, que los establecimientos pueden llevar a cabo la recepción de los productos solo en los horarios establecidos (ventanas de tiempo), que se contemplan dos rutas matutinas y una vespertina, las primeras agrupan los establecimientos que cuentan con horarios de recepción entre las 8:00 y hasta las 14:00 horas; la última concentra a los establecimientos cuya recepción de productos se lleva a cabo de las 12:00 a las 16:00 horas, sin que los establecimientos sean contabilizados en ambos horarios simultáneamente (si la ventana de tiempo de un establecimiento inicia antes de las 12:00 se considera en el horario matutino, a partir de las 12:00 se considera en el horario vespertino), y que no existe problema de capacidad en los vehículos debido a que la demanda total estimada para los establecimientos es de 374 cajas diarias, lo que es menor que las 500 cajas consideradas como capacidad nominal.

6.3.3.1. Escenario C1: Distribución utilizando tres rutas, dos matutinas y una vespertina, con restricciones de horario minimizando el tiempo de recorrido

En este escenario se busca minimizar el tiempo de recorrido al llevar a cabo las entregas, para la obtención de las rutas se toman en cuenta los horarios en los que los establecimientos pueden llevar a cabo la recepción de productos.

Las mejores rutas matutinas para reducir el tiempo de recorrido se muestran en la *Figura 52*. Las rutas inician en el CeDis; el vehículo asignado a la primera ruta llega por el Norte a la zona de estudio e ingresa a ella por la calle Centenario, el vehículo que recorre la segunda ruta ingresa a la zona de estudio por la Avenida Miguel Hidalgo y llega a ella por el Sur.

Una vez que los vehículos han ingresado a la zona de estudio, llevan a cabo los recorridos y realizan las entregas en los lugares especificados; las rutas matutinas se pueden observar con mayor detalle en la *Figura 53*. Finalmente, los vehículos asignados a la primera y segunda rutas matutinas salen de la zona de estudio por la avenida División del Norte para regresar al CeDis, en donde concluyen sus recorridos.

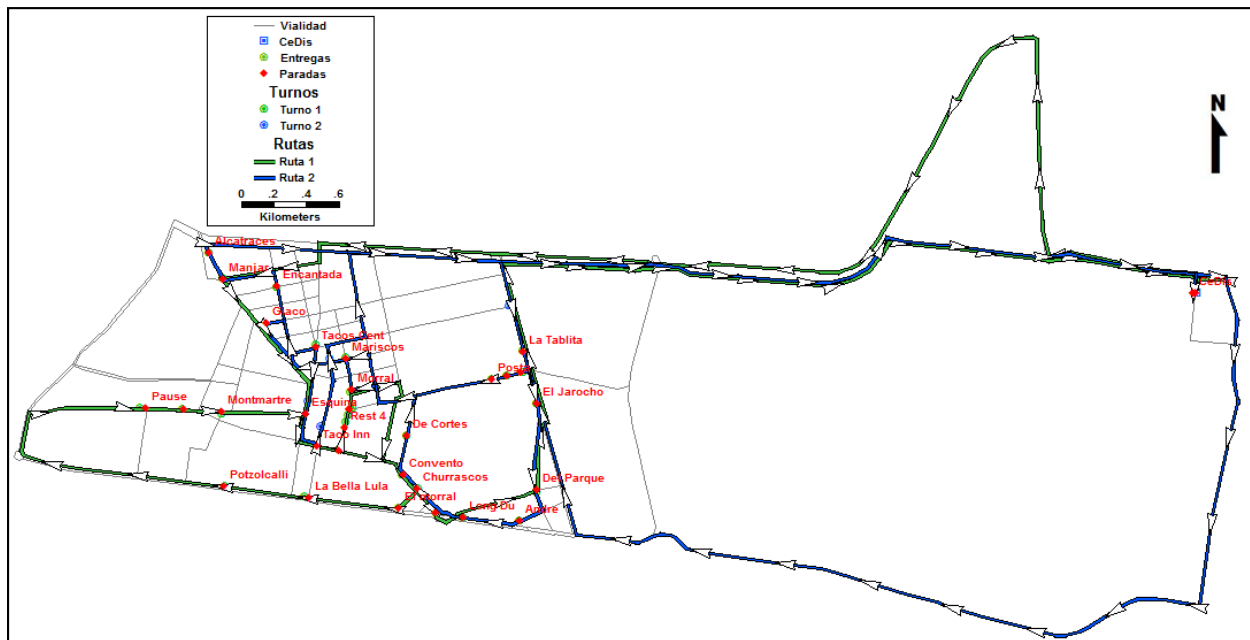


Figura 52 Recorridos que buscan minimizar el tiempo mediante la utilización de dos rutas en el turno matutino
Fuente: Elaboración propia

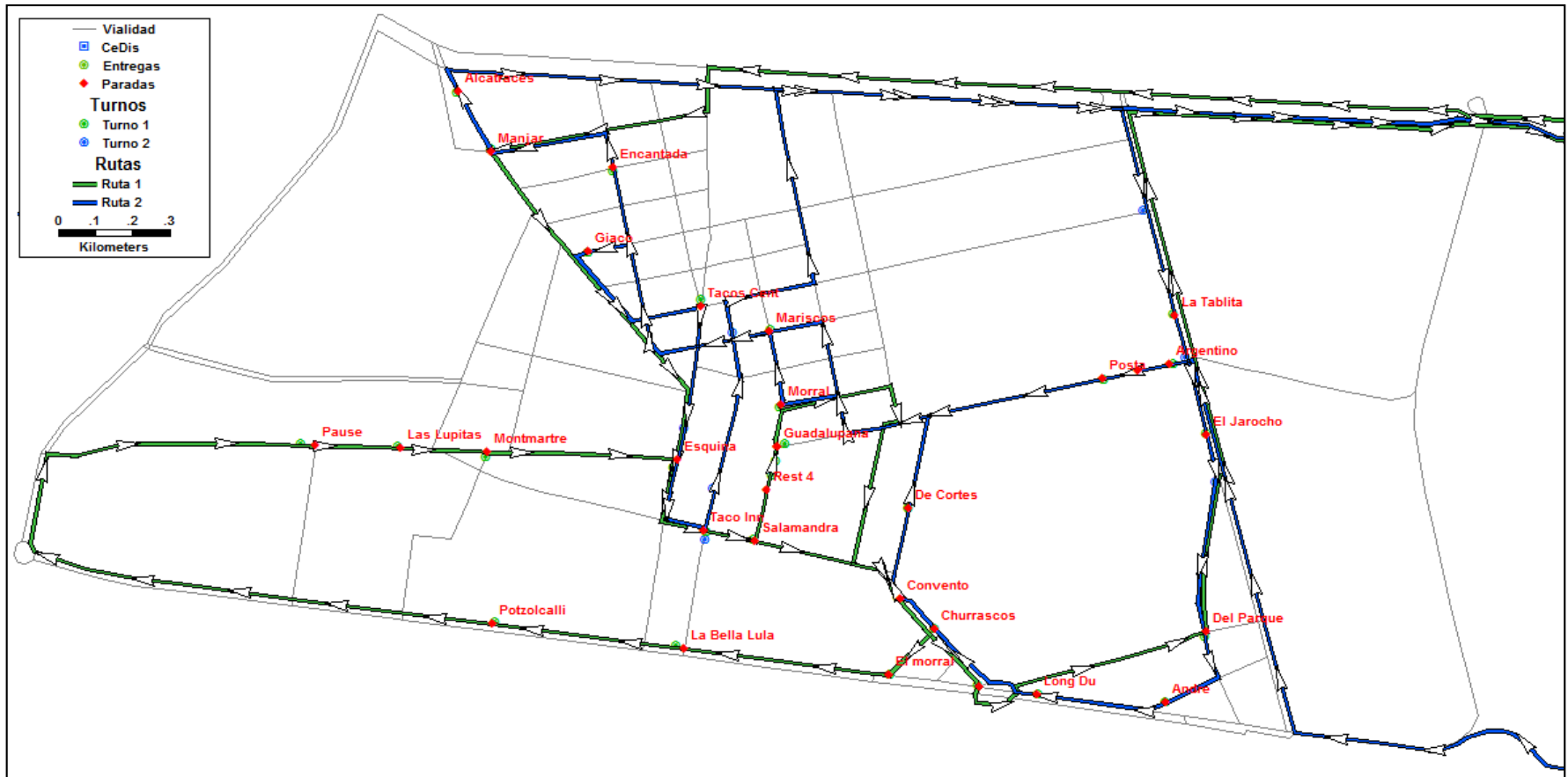


Figura 53 Acercamiento de la zona de estudio con los recorridos que buscan minimizar el tiempo mediante dos rutas en el turno matutino.
Fuente: Elaboración propia

La primera ruta matutina permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 4 horas 30 minutos, recorriendo una distancia total de 23.4 kilómetros, entregando un total de 123 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 54*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

La segunda ruta matutina permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 4 horas 30 minutos, recorriendo una distancia total de 24.1 kilómetros, y se realizan entregas por un total de 117 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 55*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

La mejor ruta vespertina para reducir el tiempo de recorrido se muestra en la *Figura 56*. La ruta inicia en el CeDis; el vehículo asignado a esta llega por el Norte a la zona de estudio e ingresa a ella por la Avenida División del Norte.

Una vez que el vehículo ha ingresado a la zona de estudio, lleva a cabo el recorrido y realiza las entregas en los lugares especificados; la ruta vespertina se puede observar con mayor detalle en la *Figura 57*. Finalmente, el vehículo sale de la zona de estudio por la calle Abasolo para regresar al CeDis, en donde concluye su recorrido.

Route # : 1		Tot Time: 4:30	Capacity : 500.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 23.4	Depart Load: 123.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	CeDis	8:07am		
1	Manjar	8:45am- 8:52am	8.4	2.0
2	Salamandra	9:00am- 9:12am	1.4	7.0
3	El morral	9:16am- 9:23am	0.7	4.0
4	La Bella Lula	9:25am- 9:33am	0.5	4.0
5	Potzolcalli	9:35am- 9:50am	0.5	10.0
6	Pause	10:00am-10:07am	2.2	1.0
7	Las Lupitas	10:08am-10:19am	0.2	4.0
8	Montmartre	10:20am-10:27am	0.2	1.0
9	Taco Inn	10:31am-10:53am	0.7	21.0
10	Rest 4	10:54am-11:01am	0.2	2.0
11	Pepecoy	11:01am-11:08am	0.1	3.0
12	Guadalupana	11:08am-11:48am		60.0
13	Arracheras	11:56am-12:02pm	1.4	1.0
14	Del Parque	12:06pm-12:13pm	0.7	3.0
	END CeDis	12:37pm	5.8	
Total			23.4	123.0

Figura 54 Itinerario de la primera ruta matutina para la minimización del tiempo de recorrido

Route # : 2		Tot Time: 4:30		Capacity : 500.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 24.1		Depart Load: 117.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery	
CeDis		7:29am			
1	Argentino	8:00am- 8:07am	7.2	2.0	
2	Capricho	8:07am- 8:15am	0.0	6.0	
3	Posta	8:15am- 8:28am	0.0	8.0	
4	Encantada	8:37am- 8:44am	1.9	1.0	
5	Alcatraces	8:47am- 8:53am	0.5	1.0	
6	La Tablita	9:04am- 9:14am	2.4	8.0	
7	El Jarocho	9:15am- 9:22am	0.3	3.0	
8	Andre	9:26am- 9:33am	0.8	2.0	
9	Long Du	9:34am- 9:41am	0.3	4.0	
10	Churrascos	9:43am- 9:57am	0.3	11.0	
11	Convento	9:58am-10:06am	0.1	6.0	
12	De Cortes	10:07am-10:15am	0.2	6.0	
13	Mprral	10:19am-10:34am	0.7	15.0	
14	Mariscos	10:35am-10:43am	0.2	6.0	
15	Giaco	10:46am-10:53am	0.7	3.0	
16	Tacos Cent	10:56am-11:05am	0.4	10.0	
17	Esquina	11:07am-11:31am	0.4	25.0	
END CeDis		11:59am		6.9	
Total			24.1	117.0	

Figura 55 Itinerario de la segunda ruta matutina para la minimización del tiempo de recorrido

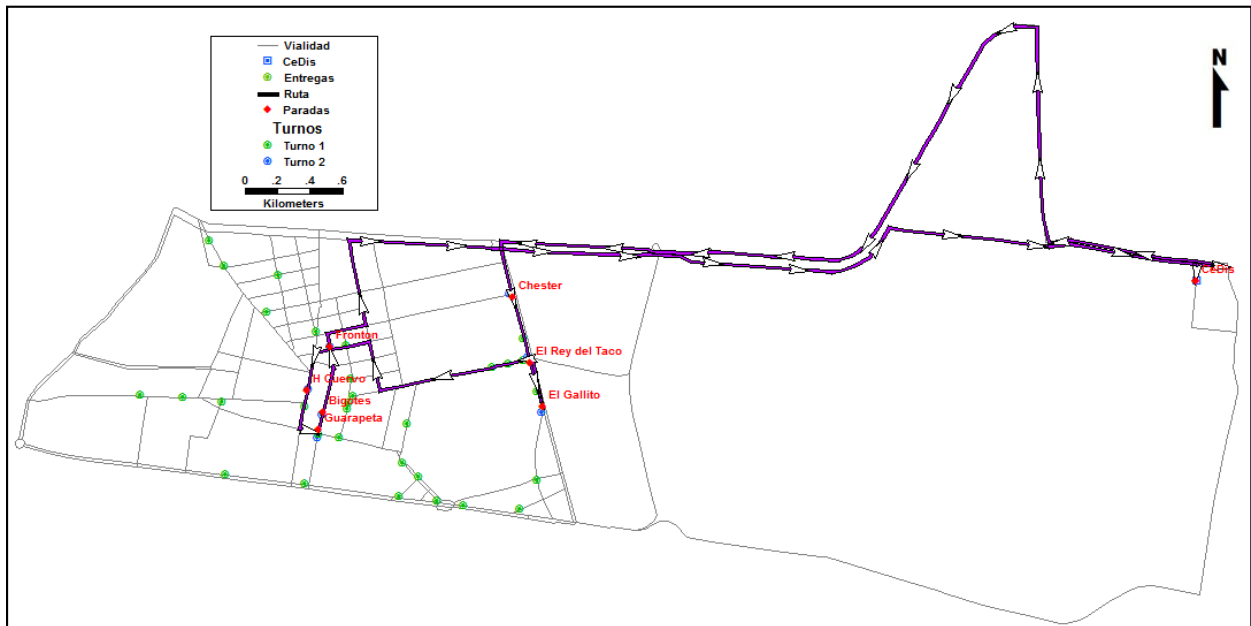


Figura 56 Recorrido que busca minimizar el tiempo mediante la utilización de una ruta en el turno vespertino
Fuente: Elaboración propia

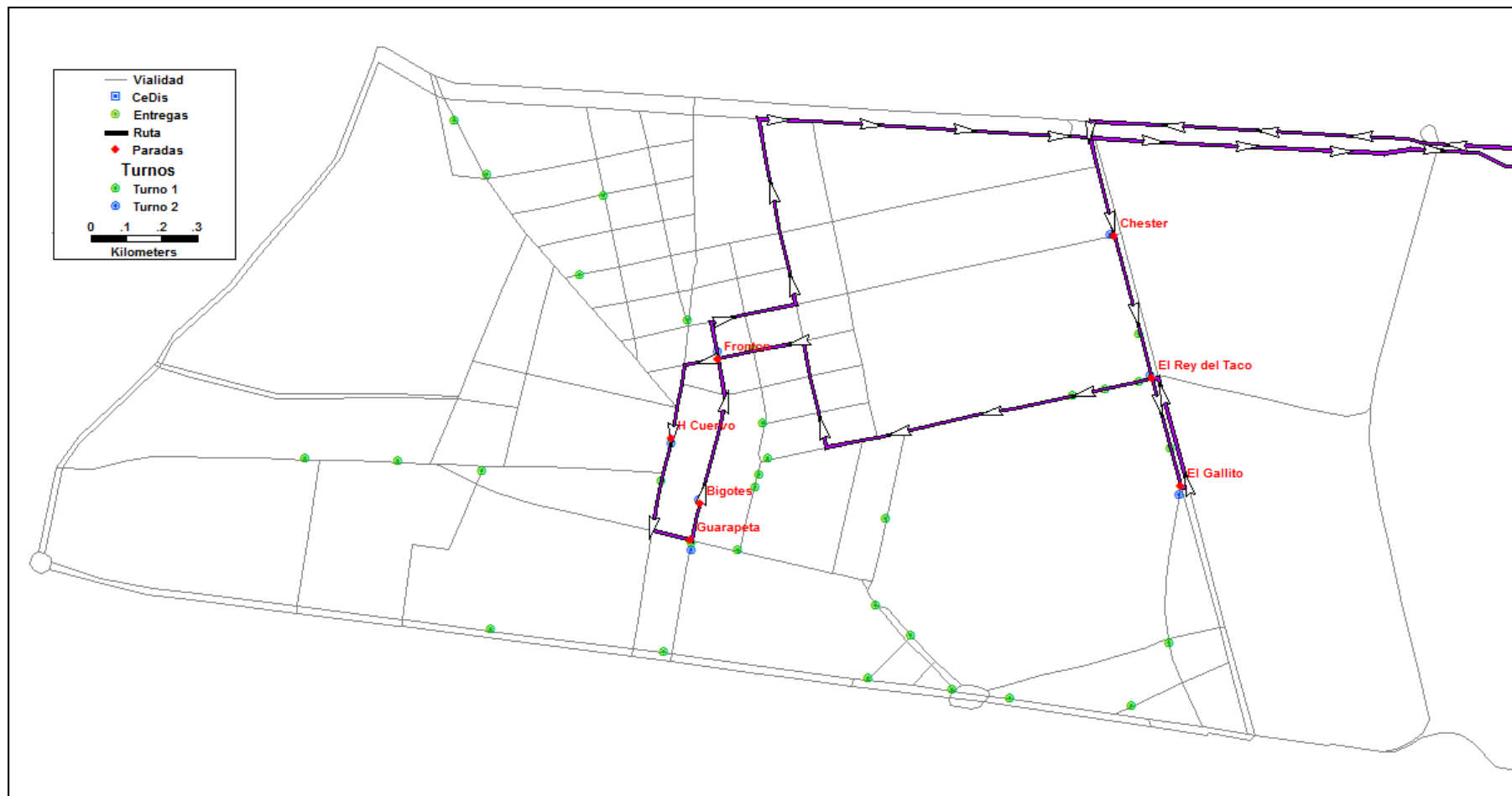


Figura 57 Acercamiento de la zona de estudio con el recorrido que busca minimizar el tiempo mediante una ruta en el turno vespertino
Fuente: Elaboración propia

La ruta vespertina permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 3 horas 22 minutos, recorriendo una distancia total de 16.9 kilómetros, y se realizan entregas por un total de 134 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (Figura 58) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

Route # : 1		Tot Time: 3:22	Capacity : 500.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 16.9	Depart Load: 134.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	CeDis	11:48am		
1	Chester	12:20pm-12:27pm	6.9	3.0
2	El Rey del Taco	12:29pm-12:41pm	0.4	5.0
3	El Gallito	12:42pm-12:49pm	0.3	3.0
4	H Cuervo	1:00pm- 1:25pm	2.1	30.0
5	Guarapeta	1:27pm- 2:02pm	0.3	44.0
6	Bigotes	2:03pm- 2:26pm	0.1	24.0
7	Fronton	2:28pm- 2:46pm	0.4	25.0
	END CeDis	3:10pm	6.2	
Total			16.9	134.0

Figura 58 Itinerario de la ruta vespertina para la minimización del tiempo de recorrido

6.3.3.2. Escenario C2: Distribución utilizando tres rutas, dos matutinas y una vespertina con restricciones de horario minimizando la distancia recorrida

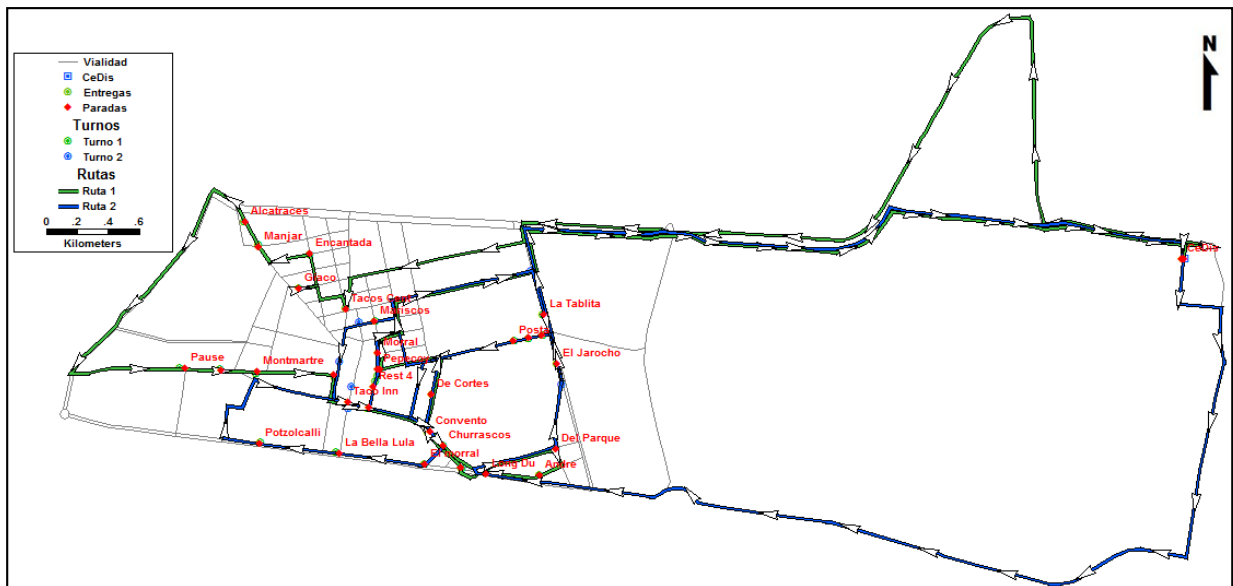


Figura 59 Recorridos que buscan minimizar la distancia recorrida mediante la utilización de dos rutas en el turno matutino
Fuente: Elaboración propia

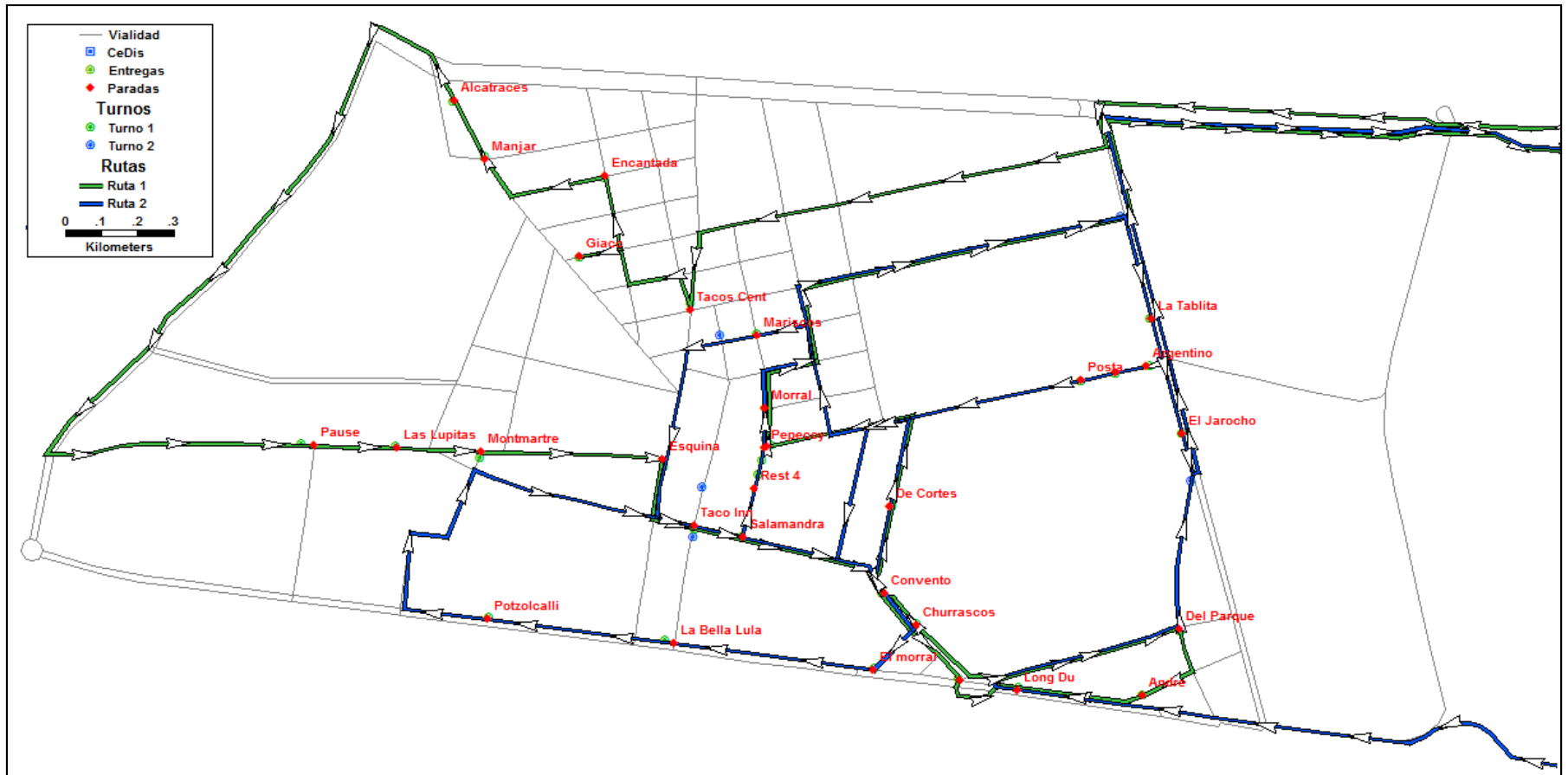


Figura 60 Acercamiento de la zona de estudio con los recorridos que buscan minimizar la distancia recorrida mediante dos rutas en el turno matutino
Fuente: Elaboración propia

En este escenario se busca minimizar la distancia recorrida al llevar a cabo las entregas, para la obtención de las rutas se toman en cuenta los horarios en los que los establecimientos pueden llevar a cabo la recepción de productos.

Las mejores rutas matutinas para reducir la distancia recorrida se muestran en la *Figura 59*. Las rutas inician en el CeDis; el vehículo asignado a la primera ruta llega por el Norte a la zona de estudio e ingresa a ella por la calle Londres, el vehículo que recorre la segunda ruta ingresa a la zona de estudio por la Avenida Miguel Ángel de Quevedo y llega a ella por el Sur.

Una vez que los vehículos han ingresado a la zona de estudio, llevan a cabo los recorridos y realizan las entregas en los lugares especificados; las rutas matutinas se pueden observar con mayor detalle en la *Figura 60*. Finalmente, los vehículos asignados a la primera y segunda rutas matutinas salen de la zona de estudio por la avenida División del Norte para regresar al CeDis, en donde concluyen sus recorridos.

La primera ruta matutina permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 4 horas 10 minutos, recorriendo una distancia total de 22.9 kilómetros, entregando un total de 114 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 61*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

La segunda ruta matutina permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 4 horas 46 minutos, recorriendo una distancia total de 22.7 kilómetros, y se realizan entregas por un total de 126 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 62*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

Route # : 1		Tot Time: 4:10	Capacity : 500.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 22.9	Depart Load: 114.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
CeDis		8:30am		
1	Tacos Cent	9:07am- 9:17am	8.1	10.0
2	Giacó	9:19am- 9:26am	0.4	3.0
3	Encantada	9:27am- 9:33am	0.3	1.0
4	Manjar	9:36am- 9:42am	0.3	2.0
5	Alcatraces	9:43am- 9:50am	0.1	1.0
6	Pause	10:02am-10:08am	2.5	1.0
7	Las Lupitas	10:09am-10:21am	0.2	4.0
8	Montmartre	10:22am-10:28am	0.2	1.0
9	Esquina	10:30am-10:54am	0.5	25.0
10	Arracheras	11:00am-11:06am	1.1	1.0
11	Del Parque	11:10am-11:17am	0.7	3.0
12	Andre	11:18am-11:25am	0.2	2.0
13	Guadalupana	11:34am-12:14pm	1.7	60.0
END	CeDis	12:40pm	6.1	
Total			22.9	114.0

Figura 61 Itinerario de la primera ruta matutina para la minimización de la distancia recorrida

Route # : 2		Tot Time: 4:46	Capacity : 500.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 22.7	Depart Load: 126.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
CeDis		7:41am		
1	Long Du	8:11am- 8:18am	6.7	4.0
2	Argentino	8:25am- 8:32am	1.4	2.0
3	Capricho	8:33am- 8:41am	0.0	6.0
4	Posta	8:41am- 8:54am	0.0	8.0
5	Churrascos	9:00am- 9:14am	1.2	11.0
6	El morral	9:15am- 9:22am	0.1	4.0
7	La Bella Lula	9:24am- 9:31am	0.5	4.0
8	Potzolcalli	9:34am- 9:49am	0.5	10.0
9	Salamandra	9:56am-10:08am	1.4	7.0
10	Convento	10:11am-10:19am	0.4	6.0
11	De Cortes	10:20am-10:28am	0.2	6.0
12	Mariscos	10:32am-10:40am	0.9	6.0
13	Taco Inn	10:45am-11:07am	0.7	21.0
14	Rest 4	11:08am-11:15am	0.2	2.0
15	Pepecoy	11:15am-11:22am	0.1	3.0
16	Morral	11:23am-11:38am	0.1	15.0
17	La Tablita	11:47am-11:56am	1.6	8.0
18	El Jarocho	11:58am-12:05pm	0.3	3.0
END	CeDis	12:28pm	5.5	
Total			22.7	126.0

Figura 62 Itinerario de la segunda ruta para la minimización de la distancia recorrida

La mejor ruta vespertina para reducir la distancia recorrida se muestra en la *Figura 63*. La ruta inicia en el CeDis; el vehículo asignado a esta llega por el Norte a la zona de estudio e ingresa a ella por la Avenida División del Norte.

Una vez que el vehículo ha ingresado a la zona de estudio, lleva a cabo el recorrido y realiza las entregas en los lugares especificados; la ruta vespertina se puede observar con mayor detalle en la *Figura 64*. Finalmente, el vehículo sale de la zona de estudio por la calle Xicoténcatl para regresar al CeDis, en donde concluye su recorrido.

La ruta vespertina permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 3 horas 22 minutos, recorriendo una distancia total de 16.6 kilómetros, entregando un total de 134 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 65*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

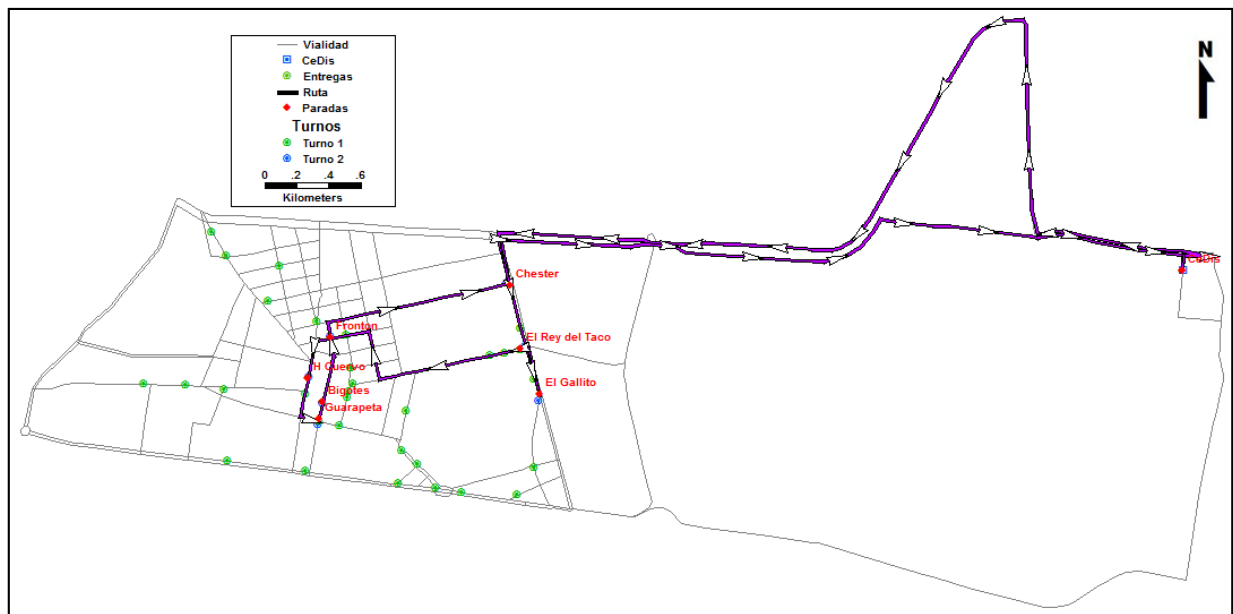


Figura 63 Recorrido que busca minimizar la distancia recorrida mediante la utilización de una ruta en el turno vespertino
Fuente: Elaboración propia

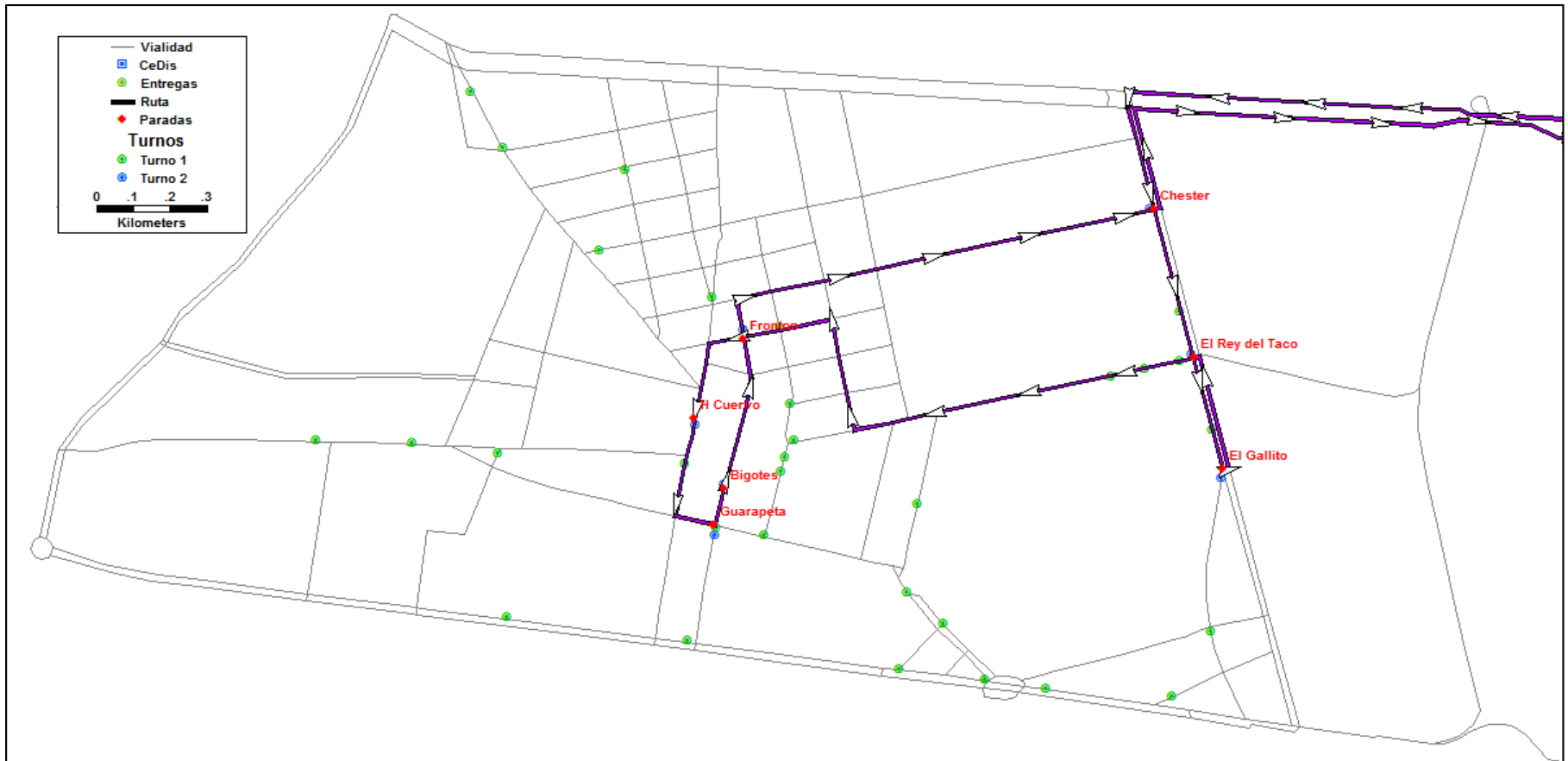


Figura 64 Acercamiento de la zona de estudio con los recorridos que buscan minimizar la distancia recorrida mediante una ruta en el turno vespertino
 Fuente: Elaboración propia

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
CeDis		11:48am		
1	Chester	12:20pm-12:27pm	6.9	3.0
2	El Gallito	12:31pm-12:38pm	0.7	3.0
3	El Rey del Taco	12:40pm-12:52pm	0.3	5.0
4	H Cuervo	1:00pm- 1:25pm	1.7	30.0
5	Guarapeta	1:27pm- 2:02pm	0.3	44.0
6	Bigotes	2:03pm- 2:26pm	0.1	24.0
7	Fronton	2:28pm- 2:46pm	0.4	25.0
END	CeDis	3:11pm	5.9	
Total			16.6	134.0

Figura 65 Itinerario de la ruta vespertina para la minimización de la distancia recorrida

6.3.3.3. Comparación de escenarios que buscan minimizar el tiempo y la distancia

Al agrupar los resultados y realizar la comparación entre ambos escenarios (*Tabla 15*), se tiene que para el escenario C1, en el turno matutino el tiempo total es de 9 horas y la distancia recorrida es de 47.5 km, en el turno vespertino el tiempo es de 3 horas 22 minutos y la distancia recorrida es de 16.9 km; mientras que para el escenario C2, en el turno matutino el tiempo total es de 8 horas 56 minutos y la distancia recorrida es de 45.6 km, en el turno vespertino el tiempo es de 3 horas 22 minutos y la distancia recorrida es de 16.6 km.

Se observa que en el turno matutino, las rutas correspondientes al escenario C2 son las que ofrecen mejores resultados en ambos rubros, logrando mejorar el tiempo de recorrido aún cuando su objetivo es minimizar la distancia; en el turno vespertino las rutas de ambos escenarios ofrecen un tiempo similar, pero en lo que respecta a la distancia recorrida la ruta del escenario C2 ofrece un mejor resultado.

En lo referente a las cajas entregadas, el escenario C1 es el que tiene rutas mejor balanceadas en el turno matutino, en el vespertino no existe diferencia entre escenarios al considerar en una sola ruta los mismos establecimientos.

Es importante señalar que la duración de las rutas en ambos escenarios no excede las 5 horas, por lo que puede ser factible contemplar situaciones como periodos de descanso o alimentación, paradas para ir al

baño, etc. y en lugar de retornar al CeDis se puede atender también otras zonas cercanas de forma adicional al recorrido propuesto, por lo tanto ahora se requiere plantear nuevos escenarios que permitan reducir los impactos negativos relacionados con el desarrollo de las actividades propias de la Distribución Urbana de Mercancías.

Escenario	Ruta	Tiempo de recorrido (h)	Distancia recorrida (km)	Producto entregado (cajas)
Minimizar tiempo (C1)	1M	04:30	23.4	123
	2M	04:30	24.1	117
	1V	03:22	16.9	134
Minimizar distancia (C2)	1M	04:10	22.9	114
	2M	04:46	22.7	126
	1V	03:22	16.6	134

Tabla 15 Resultados de la utilización de tres rutas, dos matutinas (M) y una vespertina (V)
Fuente: Elaboración propia

6.3.4. Distribución a los establecimientos considerando entregas nocturnas

En estos escenarios se propone llevar a cabo una ruta para realizar entregas nocturnas, para tal fin se agruparon los establecimientos en los que se considera que pudiese ser factible este tipo de entrega debido a su horario de servicio, de manera que si el local cuenta con un acceso independiente que le permita recibir la mercancía, el horario para llevar a cabo la entrega se considerará al final de su horario de servicio, si no cuenta con el acceso mencionado, se llevará a cabo una vez finalizado el horario de atención al público; por lo anterior se asumió que las entregas pueden llevarse a cabo en las ventanas de tiempo señaladas en la *Tabla 16*. Los establecimientos considerados para las entregas nocturnas concentran una demanda de 217 cajas de cerveza, lo que representa al 58% de la demanda total de la zona.

Se incluyen también dos rutas diurnas para realizar la distribución a los establecimientos no contemplados con las entregas nocturnas; no existe problema de capacidad en los vehículos debido a que la demanda total estimada para los establecimientos en ambos horarios es menor que las 500 cajas consideradas como capacidad nominal.

<i>Nombre</i>	<i>Demanda estimada</i>	<i>Nodo equivalente</i>	<i>Demanda equivalente</i>	<i>TWinicio</i>	<i>TWfinal</i>
André	2	<i>André</i>	2	22:00	23:30
El Gallito	3	<i>El Gallito</i>	3	22:30	24:00
La Tablita	8	<i>La Tablita</i>	8	22:00	23:00
Osil	14				
Erradero	3				
Guarapeta	12	<i>Guarapeta</i>	44	23:30	1:30
Garage	15				
Taco Inn	4				
Tacogusto	3				
Quetacoatl	2				
Cebistro	4	<i>Taco Inn</i>	21	22:30	23:30
Tucán	4				
Quete	4				
Cross	10				
Bigotes	14	<i>Bigotes</i>	24	00:00	1:30
Rest 3	10				
H Cuervo	20	<i>H Cuervo</i>	30	00:00	1:30
Frontón	25	<i>Frontón</i>	25	22:30	00:00
Coyoacana	20				
Guadalupana	30	<i>Guadalupana</i>	60	23:30	01:00
Puesta del Sol	10				

Tabla 16 Modificación en las ventanas de tiempo para llevar a cabo la distribución nocturna
Fuente: Elaboración propia

Otra consideración para determinar la mejor ruta para llevar a cabo las entregas nocturnas es modificar el atributo correspondiente a la velocidad en las vialidades (arcos) dentro de la capa geográfica de la red vial, debido a que en el horario en que se llevarían a cabo las entregas, habrá disminuido la congestión en las vialidades, por lo que la velocidad a la que puede circular el vehículo asignado a la ruta será mayor.

6.3.4.1. Escenario D1: Distribución considerando entregas nocturnas minimizando el tiempo de recorrido

En este escenario se busca minimizar el tiempo de recorrido al llevar a cabo las entregas, para la obtención de las rutas se toman en cuenta los horarios en los que los establecimientos pueden llevar a cabo la recepción de productos.

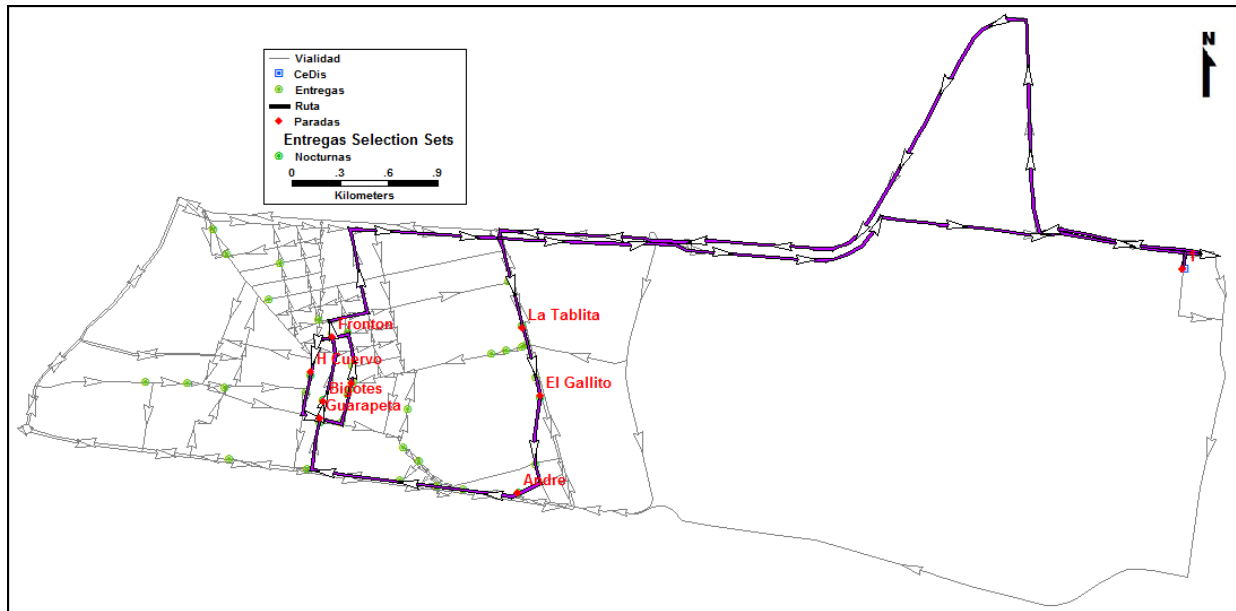


Figura 66 Recorrido que busca minimizar el tiempo mediante la utilización de una ruta para entregas nocturnas
Fuente: Elaboración propia

La mejor ruta para reducir el tiempo de recorrido al realizar las entregas nocturnas se muestra en la *Figura 66*. La ruta inicia en el CeDis; el vehículo asignado a la ruta nocturna llega por el Norte a la zona de estudio e ingresa a ella por la Avenida División del Norte.

Una vez que el vehículo ha ingresado a la zona de estudio, lleva a cabo el recorrido y realiza las entregas en los lugares especificados; la ruta se puede observar con mayor detalle en la *Figura 67*. Finalmente, el vehículo sale de la zona de estudio por la calle Abasolo para regresar al CeDis, en donde concluye su recorrido.

La ruta nocturna permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 4 horas 1 minuto, recorriendo una distancia total de 19.4 kilómetros, entregando un total de 217 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 68*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

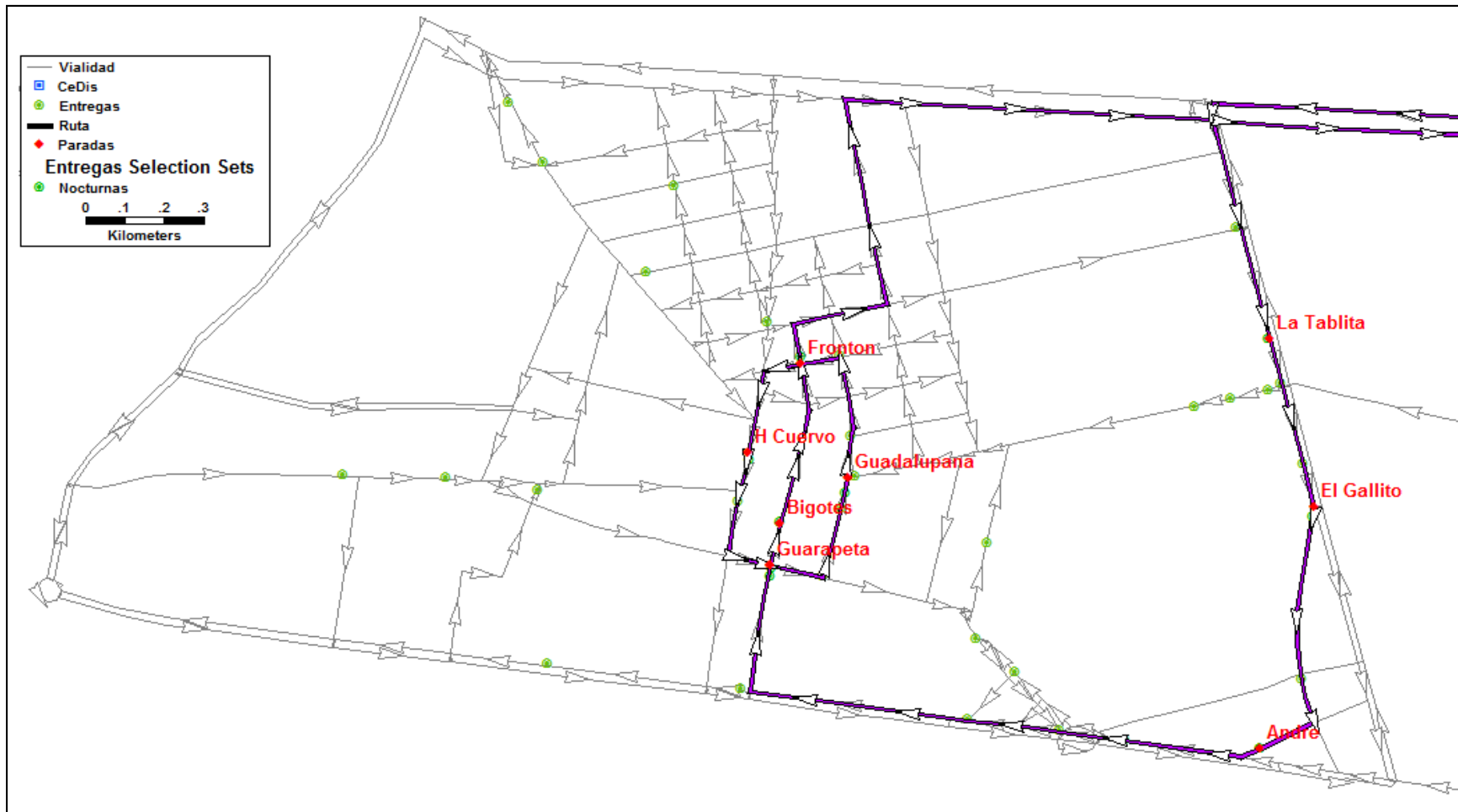


Figura 67 Acercamiento de la zona de estudio con el recorrido que busca minimizar el tiempo mediante entregas nocturnas
 Fuente: Elaboración propia

Route # : 1		Tot Time: 4:01		Capacity : 500.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 19.4		Depart Load: 217.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery	
CeDis		9:59pm			
1	La Tablita	10:19pm-10:29pm	7.2	8.0	
2	El Gallito	10:30pm-10:37pm	0.4	3.0	
3	Andre	10:39pm-10:46pm	0.7	2.0	
4	Fronton	10:52pm-11:11pm	2.1	25.0	
5	Taco Inn	11:13pm-11:35pm	0.6	21.0	
6	Guadalupana	11:37pm- 0:17am	0.3	60.0	
7	H Cuervo	0:19am- 0:44am	0.7	30.0	
8	Guarapeta	0:46am- 1:20am	0.3	44.0	
9	Bigotes	1:21am- 1:44am	0.1	24.0	
END CeDis		2:01am		6.6	
Total			19.4	217.0	

Figura 68 Itinerario de la ruta nocturna para la minimización del tiempo de recorrido

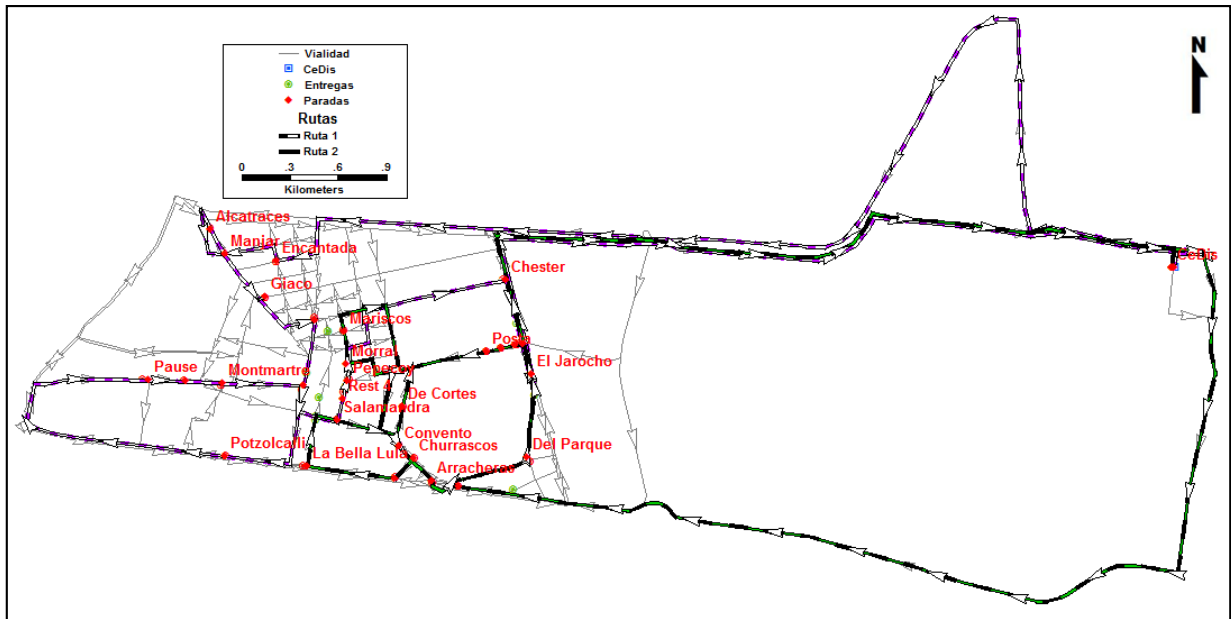


Figura 69 Recorrido que busca minimizar el tiempo mediante la utilización de dos rutas diurnas
Fuente: Elaboración propia

Las mejores rutas diurnas para reducir el tiempo de recorrido se muestran en la *Figura 69*. Las rutas inician en el CeDis; el vehículo asignado a la primera ruta llega por el Norte a la zona de estudio e ingresa a ella por la calle Centenario, el vehículo que recorre la segunda ruta ingresa a la zona de estudio por la Avenida Miguel Hidalgo y llega a ella por el Sur.

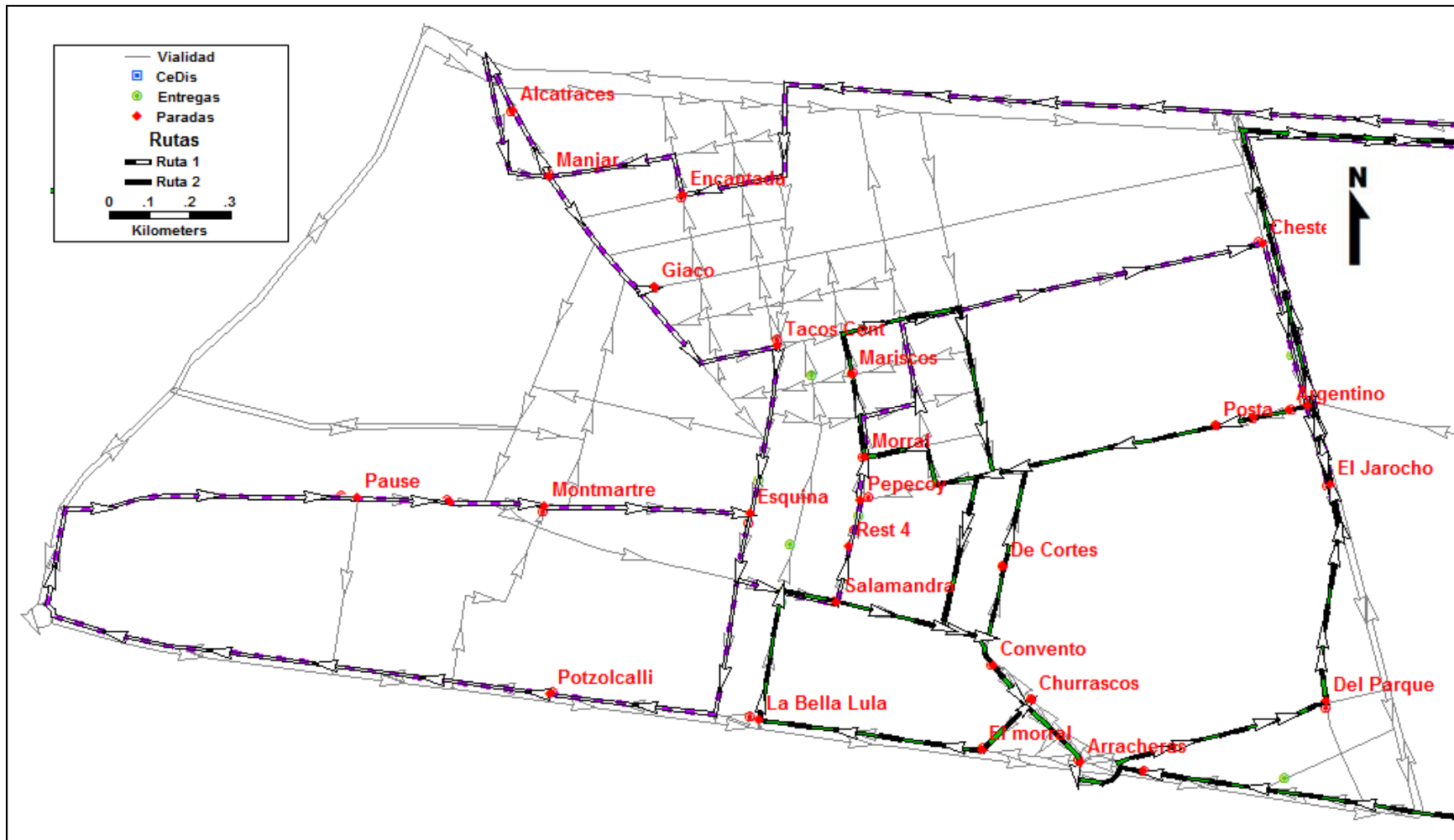


Figura 70 Acercamiento de la zona de estudio con los recorridos que buscan minimizar el tiempo mediante dos rutas diurnas
Fuente: Elaboración propia

Una vez que los vehículos han ingresado a la zona de estudio, llevan a cabo los recorridos y realizan las entregas en los lugares especificados; las rutas diurnas se pueden observar con mayor detalle en la *Figura 70*. Finalmente, los vehículos asignados a las rutas diurnas salen de la zona de estudio por la avenida División del Norte para regresar al CeDis, en donde concluyen sus recorridos.

La primera ruta diurna permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 3 horas 57 minutos, recorriendo una distancia total de 22.9 kilómetros, entregando un total de 71 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 71*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

La segunda ruta diurna permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 3 horas 51 minutos, recorriendo una distancia total de 21.3 kilómetros, y se realizan entregas por un total de 86 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 72*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
Route # : 1		Tot Time: 3:57	Capacity : 500.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 22.9	Depart Load: 71.0	
	CeDis	8:47am		
1	Encantada	9:24am- 9:30am	8.2	1.0
2	Manjar	9:32am- 9:39am	0.4	2.0
3	Alcatraces	9:40am- 9:46am	0.1	1.0
4	Giacó	9:52am- 9:59am	0.9	3.0
5	Tacos Cent	10:01am-10:11am	0.4	10.0
6	Potzolcalli	10:17am-10:33am	1.3	10.0
7	Pause	10:43am-10:49am	2.2	1.0
8	Las Lupitas	10:50am-11:02am	0.2	4.0
9	Montmartre	11:03am-11:09am	0.2	1.0
10	Esquina	11:12am-11:35am	0.5	25.0
11	Rest 4	11:38am-11:45am	0.5	2.0
12	Pepecoy	11:45am-11:52am	0.1	3.0
13	Chester	12:00pm-12:07pm	1.4	3.0
14	El Rey del Taco	12:09pm-12:21pm	0.4	5.0
	END CeDis	12:44pm	5.7	
Total			22.9	71.0

Figura 71 Itinerario de la primera ruta diurna para la minimización del tiempo de recorrido

Route # : 2		Tot Time: 3:51		Capacity : 500.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 21.3		Depart Load: 86.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery	
	CeDis	8:00am			
1	Long Du	8:29am- 8:37am	6.8	4.0	
2	Argentino	8:44am- 8:50am	1.4	2.0	
3	Capricho	8:51am- 8:59am	0.0	6.0	
4	Posta	8:59am- 9:12am	0.0	8.0	
5	Convento	9:18am- 9:26am	1.1	6.0	
6	Churrascos	9:26am- 9:40am	0.1	11.0	
7	El morral	9:41am- 9:48am	0.1	4.0	
8	La Bella Lula	9:50am- 9:58am	0.5	4.0	
9	Salamandra	10:00am-10:12am	0.4	7.0	
10	De Cortes	10:15am-10:23am	0.5	6.0	
11	Morral	10:27am-10:42am	0.7	15.0	
12	Mariscos	10:43am-10:51am	0.2	6.0	
13	Arracheras	11:00am-11:06am	1.6	1.0	
14	Del Parque	11:10am-11:17am	0.7	3.0	
15	El Jarocho	11:22am-11:29am	0.9	3.0	
	END CeDis	11:52am		5.5	
Total			21.3	86.0	

Figura 72 Itinerario de la segunda ruta diurna para la minimización del tiempo de recorrido

6.3.4.2. Escenario D2: Distribución considerando entregas nocturnas minimizando la distancia recorrida

En este escenario se busca minimizar la distancia recorrida al llevar a cabo las entregas, para la obtención de las rutas se toman en cuenta los horarios en los que los establecimientos pueden llevar a cabo la recepción de productos.

La mejor ruta para reducir la distancia recorrida al realizar las entregas nocturnas se muestra en la *Figura 73*. La ruta inicia en el CeDis; el vehículo asignado a la ruta nocturna llega por el Norte a la zona de estudio e ingresa a ella por la Avenida División del Norte.

Una vez que el vehículo ha ingresado a la zona de estudio, lleva a cabo el recorrido y realiza las entregas en los lugares especificados; la ruta se puede observar con mayor detalle en la *Figura 74*. Finalmente, el vehículo sale de la zona de estudio por la calle Abasolo para regresar al CeDis, en donde concluye su recorrido.

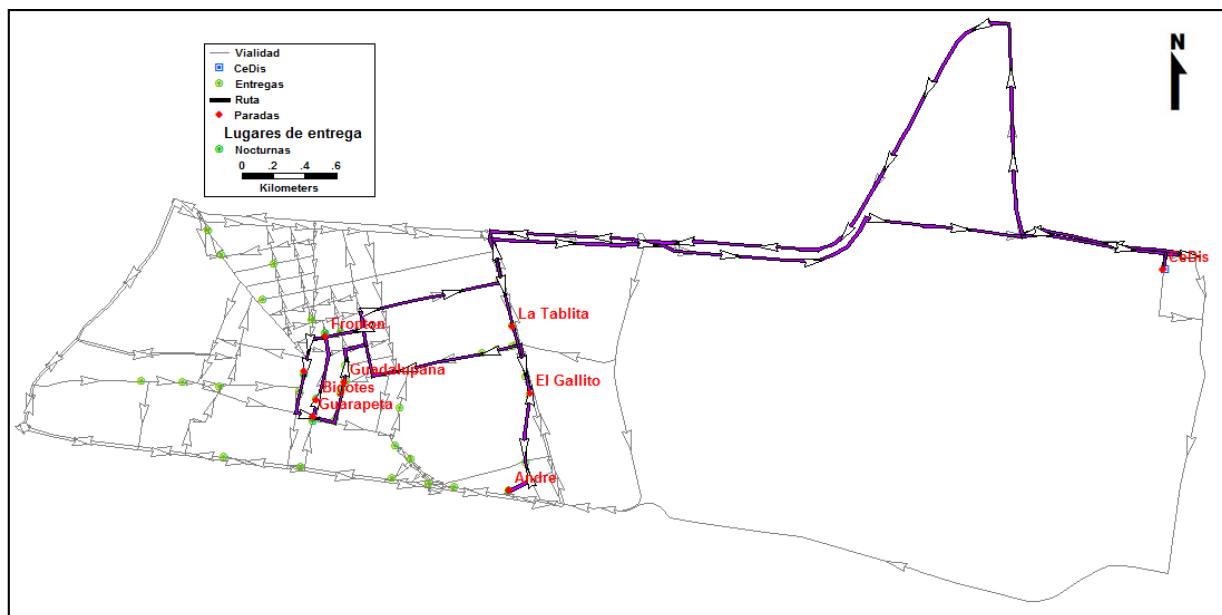


Figura 73 Recorrido que busca minimizar la distancia recorrida mediante la utilización de una ruta para entregas nocturnas
Fuente: Elaboración propia

La ruta nocturna permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 4 horas 3 minutos, recorriendo una distancia total de 19.3 kilómetros, entregando un total de 217 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 75*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

Las mejores rutas diurnas para reducir la distancia recorrida se muestran en la *Figura 76*. Las rutas inician en el CeDis; los vehículos asignados a las rutas llegan por el Sur a la zona de estudio e ingresan a ella por Avenida Miguel Ángel de Quevedo.

Una vez que los vehículos han ingresado a la zona de estudio, llevan a cabo los recorridos y realizan las entregas en los lugares especificados; las rutas diurnas se pueden observar con mayor detalle en la *Figura 77*. Finalmente, los vehículos asignados a las rutas diurnas salen de la zona de estudio por la avenida División del Norte para regresar al CeDis, en donde concluyen sus recorridos.

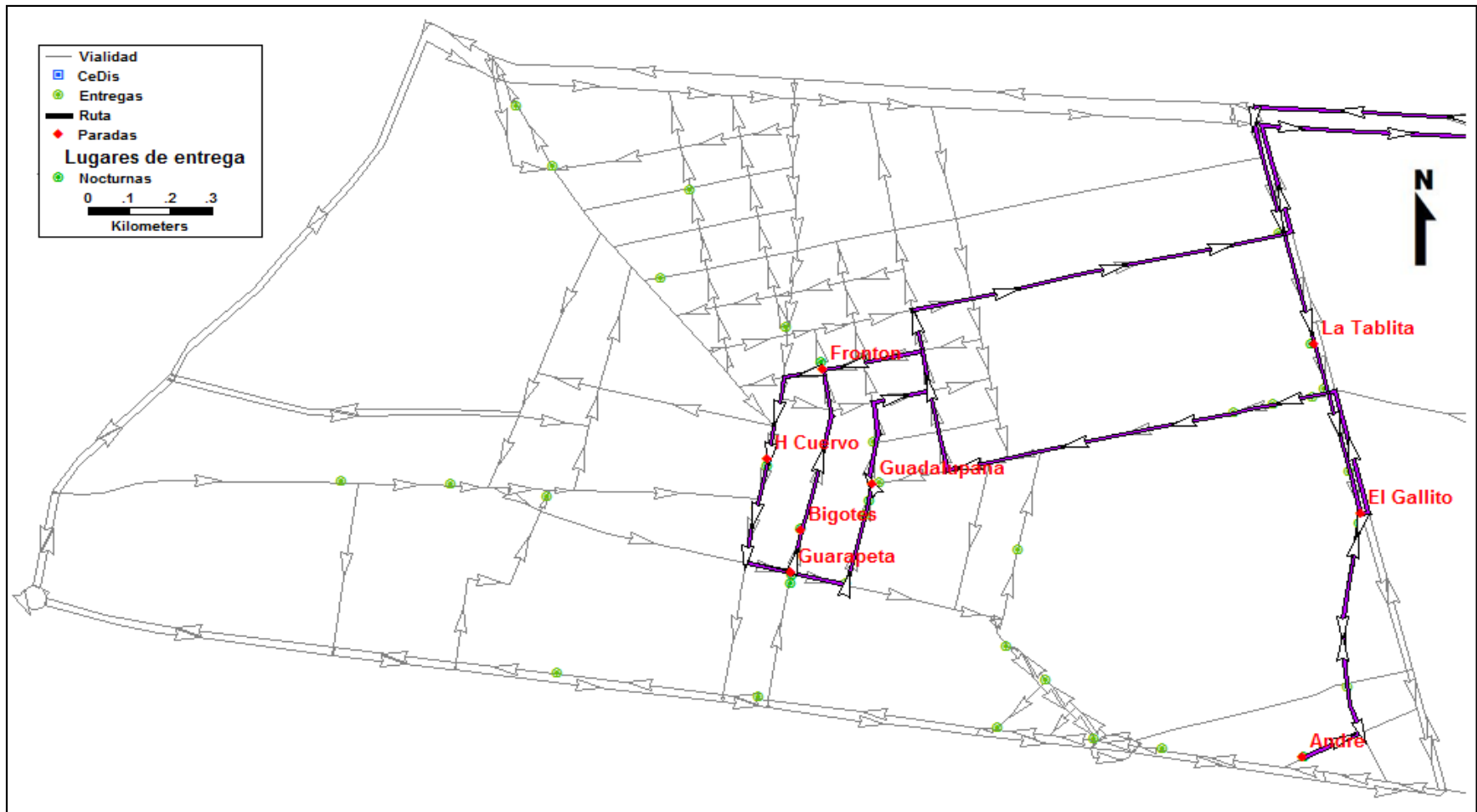


Figura 74 Acercamiento de la zona de estudio con el recorrido que busca minimizar la distancia recorrida mediante entregas nocturnas
 Fuente: Elaboración propia

Route # : 1		Tot Time: 4:03		Capacity : 500.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 19.3		Depart Load: 217.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery	
	CeDis	9:52pm			
1	La Tablita	10:12pm-10:22pm	7.2	8.0	
2	Andre	10:25pm-10:32pm	1.1	2.0	
3	El Gallito	10:34pm-10:41pm	0.7	3.0	
4	Fronton	10:47pm-11:05pm	1.8	25.0	
5	Taco Inn	11:08pm-11:30pm	0.6	21.0	
6	Guarapeta	11:30pm- 0:05am		44.0	
7	Bigotes	0:05am- 0:28am	0.1	24.0	
8	H Cuervo	0:31am- 0:56am	0.7	30.0	
9	Guadalupana	0:59am- 1:39am	0.7	60.0	
	END CeDis	1:56am	6.1		
Total			19.3	217.0	

Figura 75 Itinerario de la ruta para la minimización de la distancia recorrida mediante entregas nocturnas

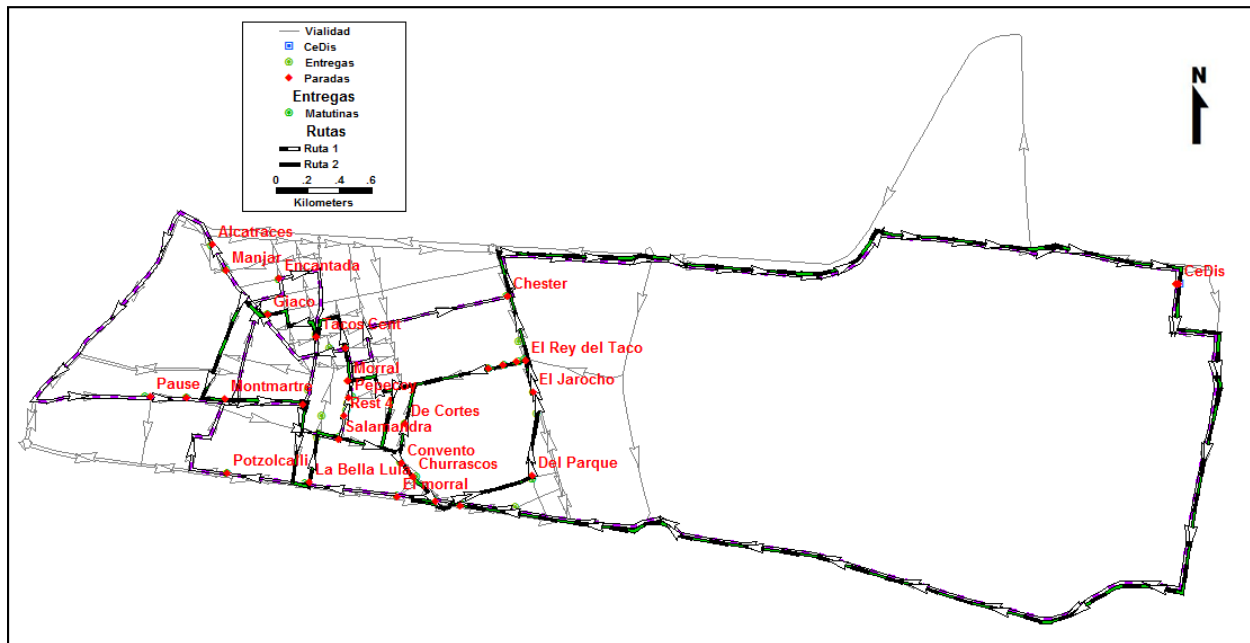


Figura 76 Recorrido que busca minimizar la distancia recorrida mediante la utilización de dos rutas diurnas

Fuente: Elaboración propia

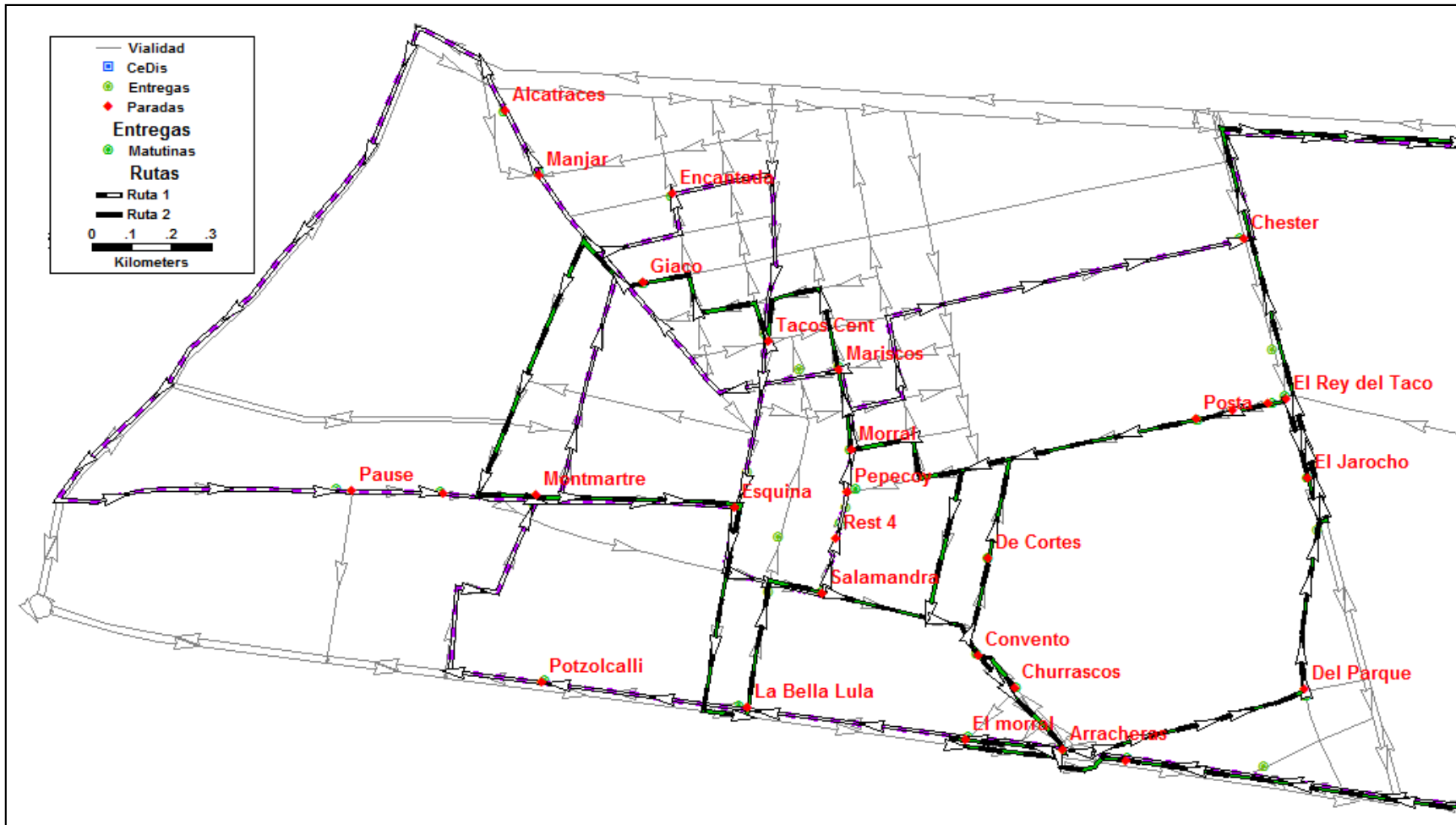


Figura 77 Acercamiento de la zona de estudio con los recorridos que buscan minimizar la distancia recorrida mediante dos rutas diurnas
Fuente: Elaboración propia

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
Route # : 1		Tot Time: 4:26	Capacity : 500.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 23.5	Depart Load: 59.0	
	CeDis	8:00am		
1	Potzolcalli	8:35am- 9:15am	8.1	10.0
2	Encantada	9:24am- 9:30am	1.7	1.0
3	Salamandra	9:38am- 9:50am	1.4	7.0
4	Manjar	9:59am-10:05am	1.5	2.0
5	Alcatraces	10:07am-10:13am	0.1	1.0
6	Pause	10:25am-10:31am	2.5	1.0
7	Las Lupitas	10:33am-10:44am	0.2	4.0
8	Esquina	10:48am-11:11am	0.7	25.0
9	Rest 4	11:14am-11:21am	0.5	2.0
10	Pepecoy	11:21am-11:28am	0.1	3.0
11	Chester	11:36am-12:07pm	1.4	3.0
	END CeDis	12:26pm	4.7	
Total			23.5	59.0

Figura 78 Itinerario de la primera ruta diurna para la minimización de la distancia recorrida

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
Route # : 2		Tot Time: 4:27	Capacity : 500.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 23.6	Depart Load: 98.0	
	CeDis	8:15am		
1	Long Du	8:45am- 8:52am	6.7	4.0
2	El Jarocho	9:00am- 9:07am	1.5	3.0
3	Argentino	9:10am- 9:16am	0.5	2.0
4	Capricho	9:17am- 9:25am	0.0	6.0
5	Posta	9:25am- 9:38am	0.0	8.0
6	Convento	9:44am- 9:52am	1.1	6.0
7	Churrascos	9:52am-10:06am	0.1	11.0
8	De Cortes	10:08am-10:16am	0.3	6.0
9	Morra1	10:20am-10:35am	0.7	15.0
10	Mariscos	10:36am-10:44am	0.2	6.0
11	Tacos Cent	10:47am-10:57am	0.4	10.0
12	Giacó	10:59am-11:06am	0.4	3.0
13	Montmartre	11:10am-11:17am	1.0	1.0
14	La Bella Lula	11:23am-11:30am	1.1	4.0
15	Arracheras	11:37am-11:43am	1.2	1.0
16	El morra1	11:44am-11:51am	0.2	4.0
17	Del Parque	11:56am-12:03pm	1.0	3.0
18	El Rey del Taco	12:07pm-12:19pm	0.7	5.0
	END CeDis	12:43pm	5.7	
Total			23.6	98.0

Figura 79 Itinerario de la segunda ruta diurna para la minimización de la distancia recorrida

La primera ruta diurna permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 4 horas 26 minutos, recorriendo una distancia total de 23.5 kilómetros, y se realizan entregas por un total de 59 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 78*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

La segunda ruta diurna permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 4 horas 27 minutos, recorriendo una distancia total de 23.6 kilómetros, entregando un total de 98 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 79*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

6.3.4.3. Comparación de escenarios que buscan minimizar el tiempo y la distancia

Al agrupar los resultados y realizar la comparación entre ambos escenarios (*Tabla 17*), se tiene que para el escenario D1, en la ruta nocturna el tiempo es de 4 horas 1 minuto y la distancia recorrida es de 19.4 km, en las rutas diurnas el tiempo total es de 7 horas 48 minutos y la distancia recorrida es de 44.2 km; mientras que para el escenario D2, en la ruta nocturna el tiempo es de 4 horas 3 minutos y la distancia recorrida es de 19.3 km, en las rutas diurnas el tiempo total es de 8 horas 53 minutos y la distancia recorrida es de 47.1 km.

Se observa que la ruta nocturna del escenario D1 permite disminuir en dos minutos el tiempo de recorrido, mientras que la del escenario D2 permite disminuir aproximadamente 100 metros la distancia recorrida; respecto a los recorridos diurnos, los correspondientes al escenario D1 son los que ofrecen mejores resultados en ambos rubros, logrando mejorar la distancia recorrida aún cuando su objetivo es minimizar el tiempo.

En lo referente a las cajas entregadas, el escenario D1 es el que tiene rutas mejor balanceadas para los recorridos diurnos, para las entregas nocturnas no existe diferencia entre escenarios al considerar en una sola ruta los mismos establecimientos.

Es importante considerar que la duración de las rutas en ambos escenarios no excede las 4 horas con 30 minutos, por lo que puede ser factible contemplar periodos de descanso o alimentación, paradas para ir al baño, entre otros. Al tratarse de una zona con gran actividad cultural, administrativa y de esparcimiento,

existen condiciones de seguridad por parte de elementos de la Secretaría de Seguridad Pública que pueden ser aprovechadas al llevar a cabo las entregas nocturnas.

Las entregas nocturnas permiten reducir los impactos negativos relacionados con el desarrollo de las actividades propias de la Distribución Urbana de Mercancías y simultáneamente reducir la duración de los recorridos, sin embargo, al menos 12 km del total de la distancia recorrida en cada ruta corresponden al traslado de los vehículos del CeDis a la zona de estudio y de la zona de estudio al CeDis. Por lo tanto, se requiere plantear nuevos escenarios que permitan reducir el tiempo y la distancia recorrida.

Escenario	Ruta	Tiempo de recorrido (h)	Distancia recorrida (km)	Producto entregado (cajas)
Minimizar tiempo (D1)	1N	04:01	19.4	217
	1D	03:57	22.9	71
	2D	03:51	21.3	86
Minimizar distancia (D2)	1N	04:03	19.3	217
	1D	04:26	23.5	59
	2D	04:27	23.6	98

Tabla 17 Resultados de la utilización de una ruta para entregas nocturnas (N) y dos rutas diurnas (D)
Fuente: Elaboración propia

6.4. Distribución a los establecimientos a partir de una bodega propuesta

Para los próximos escenarios se propone la utilización de una nueva bodega, que por la falta de disponibilidad de otros predios con las características adecuadas cercanos a la zona de estudio, puede ser ubicada en la esquina noreste del cruce de las calles Centenario y Viena (*Figura 80*), lugar en donde se encuentran las instalaciones de lo que fuera en otro momento el cine Coyoacán, pero que aparentemente en la actualidad se encuentran abandonadas o por lo menos fuera de uso.

La ubicación señalada tiene como ventajas que es de fácil acceso por su cercanía con vialidades como el Circuito Interior Río Churubusco, además de que al encontrarse cerca de la orilla de la zona de estudio no contribuye a la generación de conflictos viales, siendo posible el aprovechamiento de las instalaciones mediante la realización de alianzas con proveedores de otros artículos que no generen competencia.



Figura 80 Ubicación de la bodega propuesta (polígono de contorno amarillo)
Fuente: Elaboración propia



Figura 81 Vehículo tipo propuesto
Foto: R. Mota

Además, se considera la utilización de vehículos eléctricos, similares al mostrado en la *Figura 81*, cuya capacidad de carga se estima en 144 cajas cada uno y que por sus características facilitarían la distribución dentro de la zona señalada al requerir menor espacio para estacionarse y llevar a cabo las actividades propias de la carga y descarga de mercancías.

Para hacer llegar el producto desde el CeDis hasta la bodega propuesta, se utiliza como transporte un camión cuya capacidad permita transportar al menos el número de cajas a entregar en un día, para lo cual se sigue la ruta que se muestra en la *Figura 82* considerando que no importa el horario en que se lleve a cabo la entrega en las instalaciones de la bodega propuesta, siempre y cuando no se afecte la distribución a los establecimientos. Los datos obtenidos y que serán considerados en cada uno de los escenarios para la distribución a partir de la bodega propuesta se muestran en la *Tabla 18*.



Figura 82 Ruta para la entrega de mercancías en la bodega propuesta
Fuente: Elaboración propia

Distancia recorrida (km)	8.67
Tiempo de recorrido	00:59
Tiempo de servicio	01:30
Tiempo total	02:29

Tabla 18 Datos del recorrido del CeDis a la Bodega Propuesta
Fuente: Elaboración propia

6.4.1. Distribución a los establecimientos utilizando tres rutas, dos matutinas y una vespertina, con restricción de horario

En estos escenarios se considera lo siguiente: que la entrega de productos se realiza mediante tres rutas y con un vehículo para cada una de ellas, y que los establecimientos pueden llevar a cabo la recepción de los productos solo en los horarios establecidos (ventanas de tiempo), que se contemplan dos rutas matutinas y una vespertina, las primeras agrupan los establecimientos que cuentan con horarios de recepción entre las 8:00 y hasta las 14:00 horas; la última concentra a los establecimientos cuya recepción de productos se lleva a cabo de las 12:00 a las 16:00 horas, sin que los establecimientos sean contabilizados en ambos horarios simultáneamente (si la ventana de tiempo de un establecimiento inicia antes de las 12:00 se considera en el horario matutino, a partir de las 12:00 se considera en el horario vespertino), y que la capacidad en los vehículos utilizados es de 144 cajas.

6.4.1.1. Escenario E1: Distribución utilizando tres rutas, dos matutinas y una vespertina, con restricciones de horario minimizando el tiempo de recorrido

En este escenario se busca minimizar el tiempo de recorrido al llevar a cabo las entregas, para la obtención de las rutas se toman en cuenta los horarios en los que los establecimientos pueden llevar a cabo la recepción de productos.

Las mejores rutas matutinas para reducir el tiempo de recorrido se muestran en la *Figura 83*. Las rutas inician en la bodega propuesta; el vehículo asignado a la primera ruta se dirige hacia el Sur, el vehículo que recorre la segunda ruta marcha hacia el Oeste. Llevan a cabo los recorridos y realizan las entregas en los lugares especificados, finalmente, los vehículos retornan a la bodega, en donde concluyen sus recorridos.

La primera ruta matutina permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 3 horas 42 minutos, recorriendo una distancia total de 13.8 kilómetros, entregando un total de 113 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 84*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.



Figura 83 Recorridos que buscan minimizar el tiempo mediante la utilización de dos rutas en el turno matutino
Fuente: Elaboración propia

Route # : 1		Tot Time: 3:42	Capacity : 144.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 13.8	Depart Load: 113.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	Bodega Propuesta	8:50am		
1	Churrascos	9:00am- 9:14am	1.8	11.0
2	El morral	9:15am- 9:22am	0.1	4.0
3	La Bella Lula	9:24am- 9:31am	0.5	4.0
4	Potzolcalli	9:34am- 9:49am	0.5	10.0
5	Pause	9:59am-10:05am	2.2	1.0
6	Las Lupitas	10:06am-10:18am	0.2	4.0
7	Montmartre	10:19am-10:25am	0.2	1.0
8	Giacó	10:29am-10:36am	0.7	3.0
9	El Jarocho	10:47am-10:54am	2.2	3.0
10	Long Du	10:59am-11:07am	1.1	4.0
11	Del Parque	11:10am-11:17am	0.6	3.0
12	Andre	11:18am-11:24am	0.2	2.0
13	Arracheras	11:26am-11:33am	0.5	1.0
14	Rest 4	11:39am-11:45am	1.3	2.0
15	Guadalupana	11:46am-12:26pm	0.1	60.0
	END Bodega Propuesta	12:32pm	1.0	
Total			13.8	113.0

Figura 84 Itinerario de la primera ruta matutina para la minimización del tiempo de recorrido

Route # : 2		Tot Time: 3:39	Capacity : 144.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 9.7	Depart Load: 127.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	Bodega Propuesta	7:58am		
1	Encantada	8:00am- 8:06am	0.2	1.0
2	Manjar	8:08am- 8:15am	0.4	2.0
3	Alcatraces	8:16am- 8:22am	0.1	1.0
4	Tacos Cent	8:28am- 8:38am	1.3	10.0
5	Morral	8:42am- 8:57am	1.0	15.0
6	La Tablita	9:06am- 9:16am	1.6	8.0
7	Argentino	9:17am- 9:23am	0.1	2.0
8	Capricho	9:24am- 9:32am	0.0	6.0
9	Posta	9:32am- 9:45am	0.0	8.0
10	Mariscos	9:50am- 9:58am	1.1	6.0
11	Esquina	10:01am-10:24am	0.4	25.0
12	Taco Inn	10:26am-10:48am	0.2	21.0
13	Salamandra	10:48am-11:01am	0.1	7.0
14	Convento	11:03am-11:11am	0.4	6.0
15	De Cortes	11:12am-11:20am	0.2	6.0
16	Pepecoy	11:24am-11:31am	0.6	3.0
	END Bodega Propuesta	11:37am	1.0	
Total			9.7	127.0

Figura 85 Itinerario de la segunda ruta matutina para la minimización del tiempo de recorrido

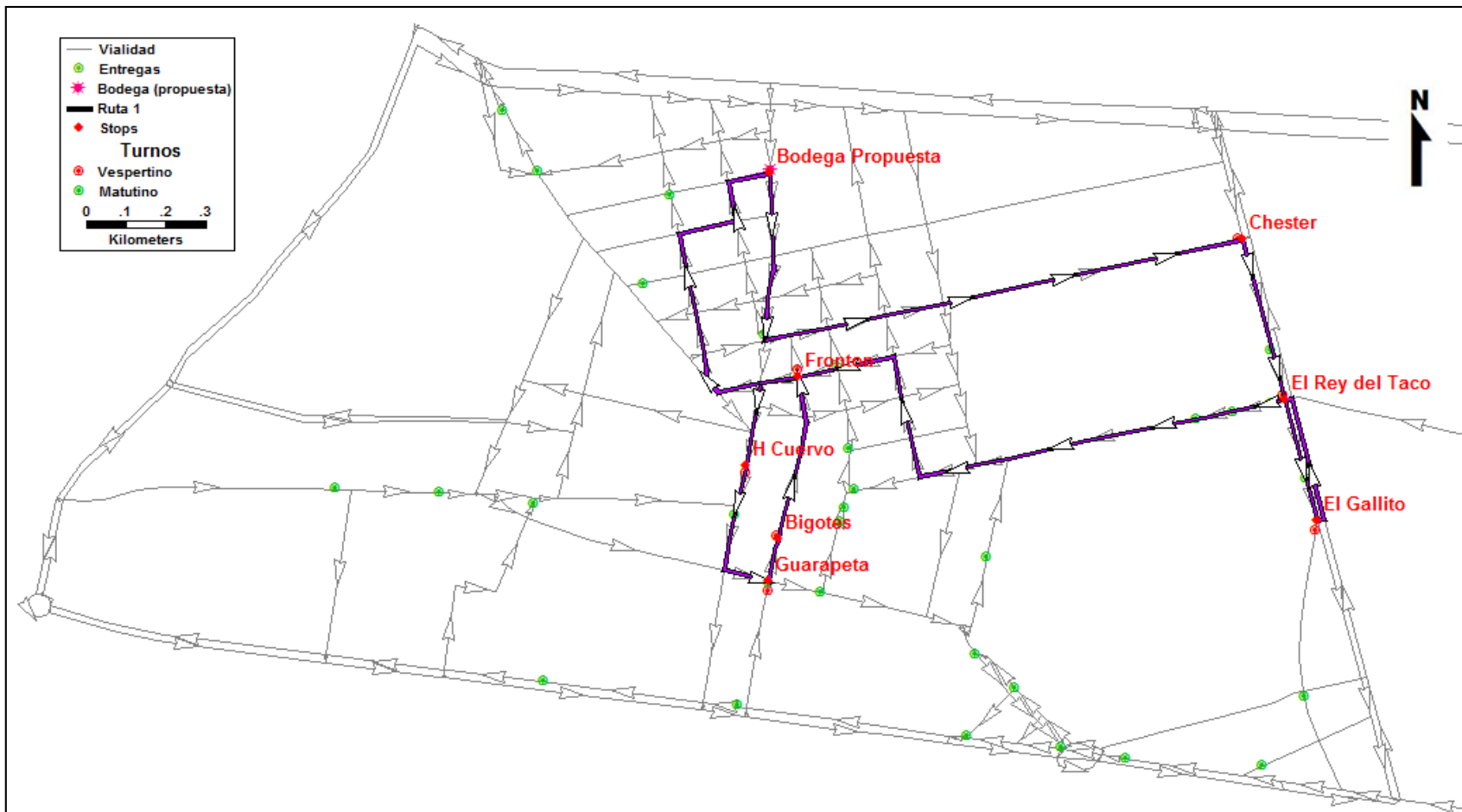


Figura 86 Recorridos que buscan minimizar el tiempo mediante la utilización una ruta en el turno vespertino
Fuente: Elaboración propia

La segunda ruta matutina permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 3 horas 39 minutos, recorriendo una distancia total de 9.7 kilómetros, y se realizan entregas por un total de 127 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 85*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

La mejor ruta vespertina para reducir el tiempo de recorrido se muestra en la *Figura 86*. La ruta inicia en la bodega propuesta; el vehículo asignado a esta marcha hacia el Sur. Lleva a cabo el recorrido y realiza las entregas en los lugares especificados, para finalmente regresar a la bodega en donde concluye su recorrido.

La ruta permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 2 horas 39 minutos, recorriendo una distancia total de 6.3 kilómetros, entregando un total de 134 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 87*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

Route # : 1		Tot Time: 2:39	Capacity : 144.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 6.3	Depart Load: 134.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
Bodega Propuesta		12:12pm		
1	Chester	12:20pm-12:27pm	1.6	3.0
2	El Gallito	12:31pm-12:38pm	0.7	3.0
3	El Rey del Taco	12:40pm-12:52pm	0.3	5.0
4	H Cuervo	1:00pm- 1:25pm	1.7	30.0
5	Guarapeta	1:27pm- 2:02pm	0.3	44.0
6	Bigotes	2:03pm- 2:26pm	0.1	24.0
7	Fronton	2:28pm- 2:46pm	0.4	25.0
END	Bodega Propuesta	2:51pm	0.9	
Total			6.3	134.0

Figura 87 Itinerario de la ruta vespertina para la minimización del tiempo de recorrido

6.4.1.2. Escenario E2: Distribución utilizando tres rutas, dos matutinas y una vespertina, con restricciones de horario minimizando la distancia recorrida

En este escenario se busca minimizar la distancia recorrida al llevar a cabo las entregas, para la obtención de las rutas se toman en cuenta los horarios en los que los establecimientos pueden llevar a cabo la recepción de productos.

Las mejores rutas matutinas para reducir la distancia recorrida se muestran en la *Figura 88*. Las rutas inician en la bodega propuesta; el vehículo asignado a la primera ruta se dirige hacia el Este, el vehículo que recorre la segunda ruta marcha hacia el Sur. Llevan a cabo los recorridos y realizan las entregas en los lugares especificados, finalmente los vehículos retornan a la bodega en donde concluyen sus recorridos.

La primera ruta matutina permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 3 horas 49 minutos, recorriendo una distancia total de 12.7 kilómetros, entregando un total de 130 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 89*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

La segunda ruta matutina permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 3 horas 30 minutos, recorriendo una distancia total de 9.7 kilómetros, y se realizan entregas por un total de 110 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 90*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

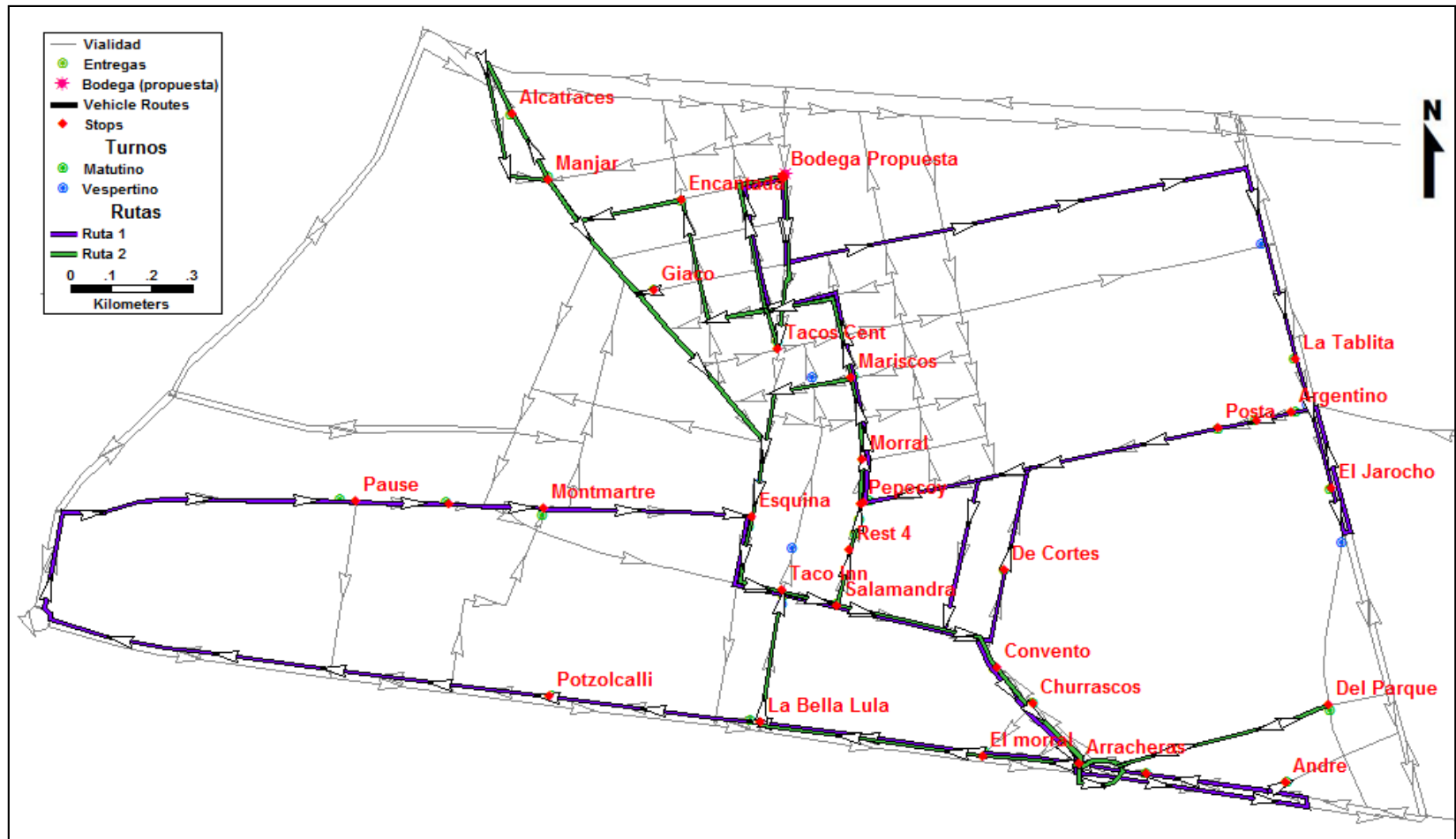


Figura 88 Recorridos que buscan minimizar la distancia recorrida mediante la utilización de dos rutas en el turno matutino
Fuente: Elaboración propia

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
Bodega Propuesta		8:50am		
1	La Tablita	9:00am- 9:10am	1.8	8.0
2	El Jarocho	9:11am- 9:18am	0.3	3.0
3	Argentino	9:21am- 9:28am	0.5	2.0
4	Capricho	9:28am- 9:36am	0.0	6.0
5	Posta	9:37am- 9:49am	0.0	8.0
6	Churrascos	9:56am-10:09am	1.2	11.0
7	Andre	10:14am-10:21am	0.9	2.0
8	Long Du	10:22am-10:29am	0.3	4.0
9	La Bella Lula	10:33am-10:40am	0.9	4.0
10	Potzoicalli	10:42am-10:58am	0.5	10.0
11	Pause	11:08am-11:14am	2.2	1.0
12	Las Lupitas	11:15am-11:27am	0.2	4.0
13	Montmartre	11:28am-11:34am	0.2	1.0
14	De Cortes	11:42am-11:50am	1.4	6.0
15	Guadalupana	11:53am-12:33pm	0.6	60.0
END	Bodega Propuesta	12:40pm	1.0	
Total			12.7	130.0

Figura 89 Itinerario de la primera ruta matutina para la minimización de la distancia recorrida

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
Bodega Propuesta		8:51am		
1	Tacos Cent	8:53am- 9:03am	0.4	10.0
2	Encantada	9:05am- 9:11am	0.5	1.0
3	Alcatraces	9:15am- 9:21am	0.5	1.0
4	Manjar	9:25am- 9:31am	0.5	2.0
5	Giacó	9:34am- 9:41am	0.3	3.0
6	Salamandra	9:47am- 9:59am	1.1	7.0
7	Rest 4	10:00am-10:07am	0.1	2.0
8	Morral	10:08am-10:23am	0.2	15.0
9	Mariscos	10:24am-10:32am	0.2	6.0
10	Esquina	10:35am-10:58am	0.4	25.0
11	Taco Inn	11:00am-11:22am	0.2	21.0
12	Convento	11:25am-11:33am	0.5	6.0
13	Arracheras	11:34am-11:41am	0.3	1.0
14	Del Parque	11:44am-11:51am	0.7	3.0
15	El morral	11:55am-12:03pm	0.8	4.0
16	Pepecoy	12:08pm-12:15pm	1.2	3.0
END	Bodega Propuesta	12:22pm	1.0	
Total			9.7	110.0

Figura 90 Itinerario de la segunda ruta matutina para la minimización de la distancia recorrida

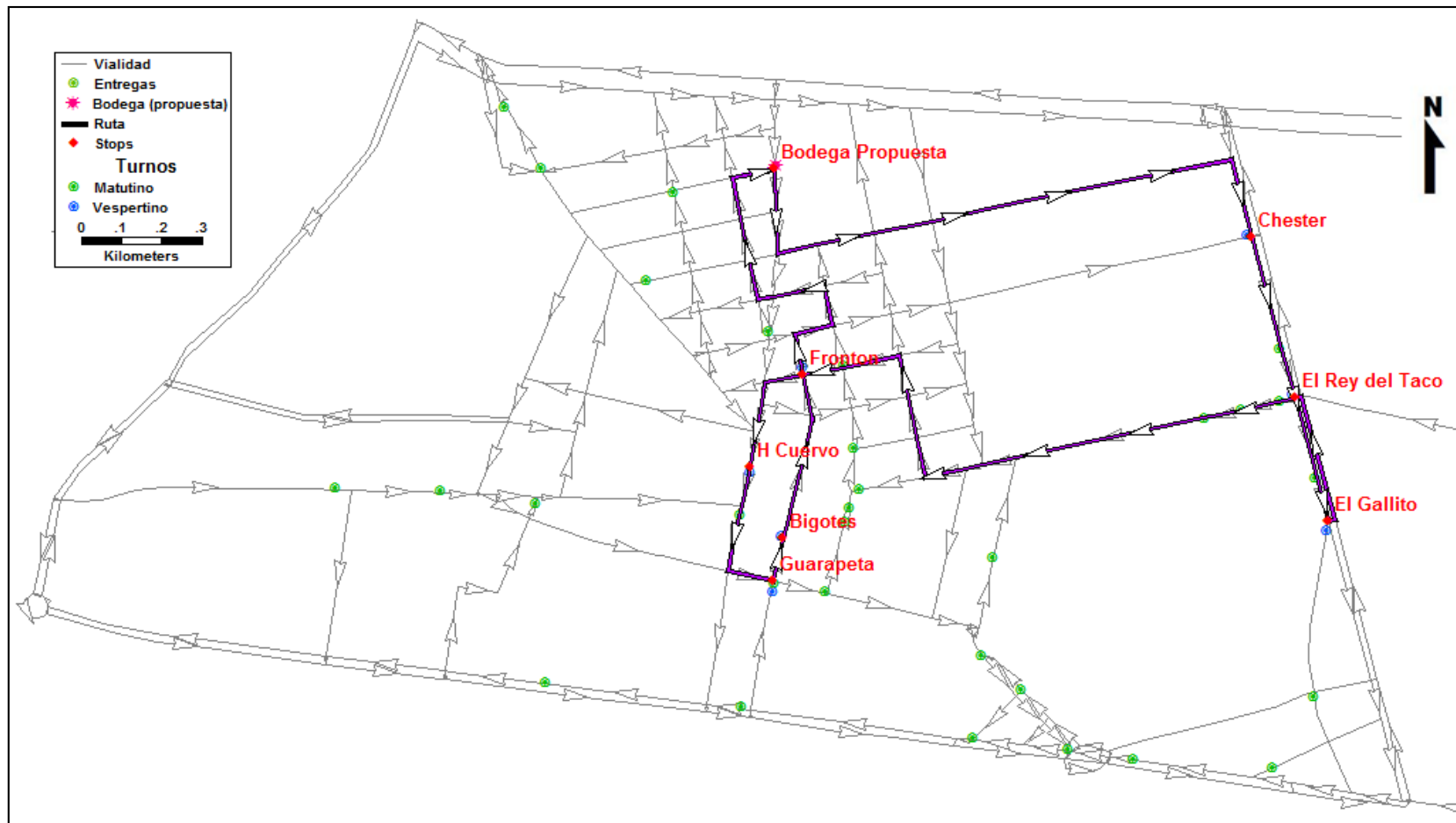


Figura 91 Recorrido que buscan minimizar la distancia recorrida mediante la utilización de una ruta en el turno vespertino
Fuente: Elaboración propia

La mejor ruta vespertina para reducir el tiempo de recorrido se muestra en la *Figura 91*. La ruta inicia en la bodega propuesta; el vehículo asignado a esta marcha hacia el Sur. Lleva a cabo el recorrido y realiza las entregas en los lugares especificados, para finalmente regresar a la bodega en donde concluye su recorrido.

La ruta permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 2 horas 39 minutos, recorriendo una distancia total de 6.3 kilómetros, entregando un total de 134 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 92*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
Route # : 1		Tot Time: 2:39	Capacity : 144.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 6.1	Depart Load: 134.0	
	Bodega Propuesta	12:12pm		
1	Chester	12:20pm-12:27pm	1.5	3.0
2	El Gallito	12:31pm-12:38pm	0.7	3.0
3	El Rey del Taco	12:40pm-12:52pm	0.3	5.0
4	H Cuervo	1:00pm- 1:25pm	1.7	30.0
5	Guarapeta	1:27pm- 2:02pm	0.3	44.0
6	Bigotes	2:03pm- 2:26pm	0.1	24.0
7	Fronton	2:28pm- 2:46pm	0.4	25.0
END	Bodega Propuesta	2:51pm	0.8	
Total			6.1	134.0

Figura 92 Itinerario de la ruta vespertina para la minimización de la distancia recorrida

6.4.1.3. Comparación de escenarios que buscan minimizar el tiempo y la distancia

Al agrupar los resultados y realizar la comparación entre ambos escenarios (*Tabla 19*), se tiene que para el escenario E1, en el turno matutino el tiempo total es de 7 horas 21 minutos y la distancia recorrida es de 23.5 km, en el turno vespertino el tiempo es de 2 horas 39 minutos y la distancia recorrida es de 6.3 km; mientras que para el escenario E2, en el turno matutino el tiempo total es de 7 horas 19 minutos y la distancia recorrida es de 22.4 km, en el turno vespertino el tiempo es de 2 horas 39 minutos y la distancia recorrida es de 6.1 km.

Se observa que en el turno matutino, las rutas correspondientes al escenario E2 son las que ofrecen mejores resultados en ambos rubros, logrando mejorar el tiempo de recorrido aún cuando su objetivo es minimizar la distancia; en el turno vespertino las rutas de ambos escenarios ofrecen un tiempo similar, pero en lo que respecta a la distancia recorrida la ruta del escenario C2 ofrece un mejor resultado.

En lo referente a las cajas entregadas, el escenario E1 es el que tiene rutas mejor balanceadas en el turno matutino, en el vespertino no existe diferencia entre escenarios al considerar en una sola ruta los mismos establecimientos. Con el uso de los vehículos propuestos se aprovecha de una mejor manera la capacidad de carga del mismo, al tener por menos un factor de carga del 76% al salir de la bodega.

Escenario	Ruta	Tiempo de recorrido (h)	Distancia recorrida (km)	Producto entregado (cajas)
Minimizar tiempo (E1)	1M	03:42	13.8	113
	2M	03:39	9.7	127
	1V	02:39	6.3	134
Minimizar distancia (E2)	1M	03:49	12.7	130
	2M	03:30	9.7	110
	1V	02:39	6.1	134

Tabla 19 Resultados de la utilización de tres rutas, dos matutinas (M) y una vespertina (V)
Fuente: Elaboración propia

Es importante señalar, por un lado, que la duración de cada una de las rutas en ambos escenarios no excede las 4 horas, por lo que puede ser factible contemplar situaciones como periodos de descanso o alimentación, paradas para ir al baño, etc., por otro lado, se hace evidente la disminución de la distancia y el tiempo de recorrido en los escenarios E1 y E2 respecto a los valores obtenidos para los escenarios C1 y C2 que realizan igual número de rutas y en los mismos horarios, sin embargo se llevan a cabo en horarios en los que hay mayor congestión vial. Por lo tanto, ahora se requiere plantear nuevos escenarios que permitan reducir los impactos negativos relacionados con el desarrollo de las actividades propias de la Distribución Urbana de Mercancías.

6.4.2. Distribución a los establecimientos considerando entregas nocturnas

En estos escenarios se propone llevar a cabo dos rutas para realizar entregas nocturnas, para tal fin se agruparon los establecimientos en los que se considera que pudiese ser factible este tipo de entrega debido a su horario de servicio, de manera que si el local cuenta con un acceso independiente que le permita recibir la mercancía, la ventana de tiempo para llevar a cabo la entrega se considerará al final de su horario de servicio, si no cuenta con el acceso mencionado, se llevará a cabo una vez finalizado el horario de atención al público; por lo anterior se asumió que las entregas pueden llevarse a cabo en las ventanas de tiempo señaladas en la *Tabla 16* de la sección 6.3.4. Se incluyen también dos rutas diurnas para realizar

la distribución a los establecimientos no contemplados con las entregas nocturnas. La capacidad en los vehículos utilizados es de 144 cajas.

Otra consideración para determinar la mejor ruta para llevar a cabo las entregas nocturnas es modificar el atributo correspondiente a la velocidad en las vialidades (arcos) dentro de la capa geográfica de la red vial, debido a que en el horario en que se llevarían a cabo las entregas, habrá disminuido la congestión en las vialidades, por lo que la velocidad a la que puede circular el vehículo asignado a la ruta será mayor.

6.4.2.1. Escenario F1: Distribución considerando entregas nocturnas minimizando el tiempo de recorrido

En este escenario se busca minimizar el tiempo de recorrido al llevar a cabo las entregas, para la obtención de las rutas se toman en cuenta los horarios en los que los establecimientos pueden llevar a cabo la recepción de productos.

Las mejores rutas para reducir el tiempo de recorrido al realizar las entregas nocturnas se muestran en la *Figura 93*. Las rutas inician en la bodega propuesta; los vehículos asignados a las rutas marchan hacia el Sur, llevan a cabo los recorridos y realizan las entregas en los lugares especificados, para finalmente retornar a la bodega, en donde concluyen sus recorridos.

La primera ruta nocturna permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 2 horas 2 minutos, recorriendo una distancia total de 6.1 kilómetros, entregando un total de 102 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 94*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

La segunda ruta nocturna permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 1 hora 34 minutos, recorriendo una distancia total de 2.9 kilómetros, y se realizan entregas por un total de 115 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 95*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

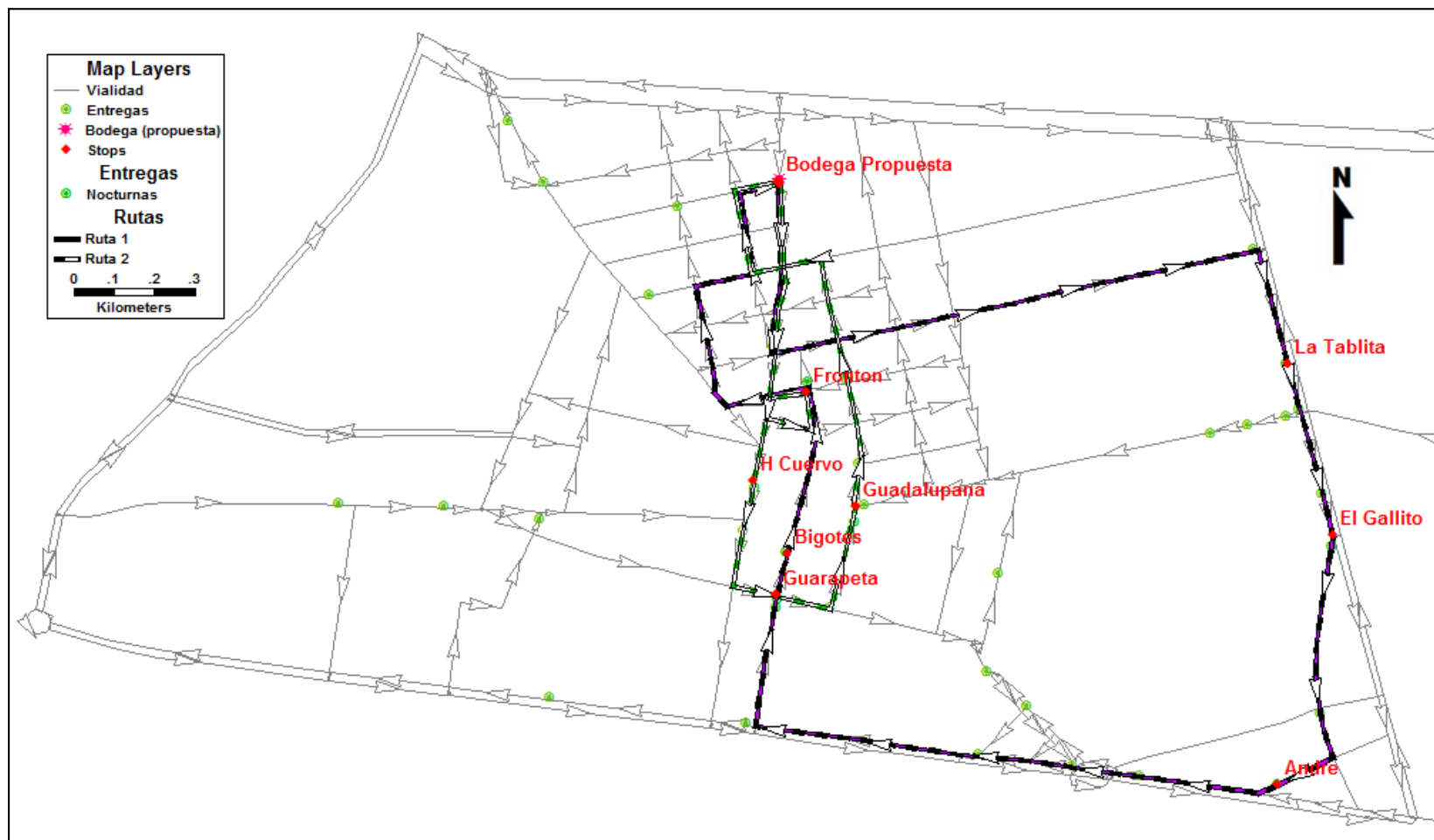


Figura 93 Recorridos que buscan minimizar el tiempo mediante la utilización de entregas nocturnas
Fuente: Elaboración propia

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
Bodega Propuesta		10:30pm		
1	La Tablita	10:37pm-10:46pm	1.9	8.0
2	El Gallito	10:48pm-10:55pm	0.4	3.0
3	Andre	10:57pm-11:04pm	0.7	2.0
4	Taco Inn	11:08pm-11:30pm	1.6	21.0
5	Guarapeta	11:30pm- 0:05am		44.0
6	Bigotes	0:05am- 0:28am	0.1	24.0
END	Bodega Propuesta	0:33am	1.3	
Total			6.1	102.0

Figura 94 Itinerario de la primera ruta nocturna para la minimización del tiempo de recorrido

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
Bodega Propuesta		11:38pm		
1	Fronton	11:41pm-11:59pm	0.8	25.0
2	H Cuervo	0:00am- 0:25am	0.3	30.0
3	Guadalupana	0:28am- 1:08am	0.7	60.0
END	Bodega Propuesta	1:12am	1.0	
Total			2.9	115.0

Figura 95 Itinerario de la segunda ruta nocturna para la minimización del tiempo de recorrido

Las mejores rutas diurnas para reducir la distancia recorrida se muestran en la *Figura 96*. Las rutas inician en la bodega propuesta; los vehículos asignados a las rutas marchan hacia el Sur, llevan a cabo los recorridos y realizan las entregas en los lugares especificados, para finalmente retornar a la bodega, en donde concluyen sus recorridos.

La primera ruta diurna permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 3 horas 19 minutos, recorriendo una distancia total de 14.6 kilómetros, entregando un total de 62 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 97*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

La segunda ruta diurna permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 3 horas 14 minutos, recorriendo una distancia total de 11.1 kilómetros, y se realizan entregas por un total de 95 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 98*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

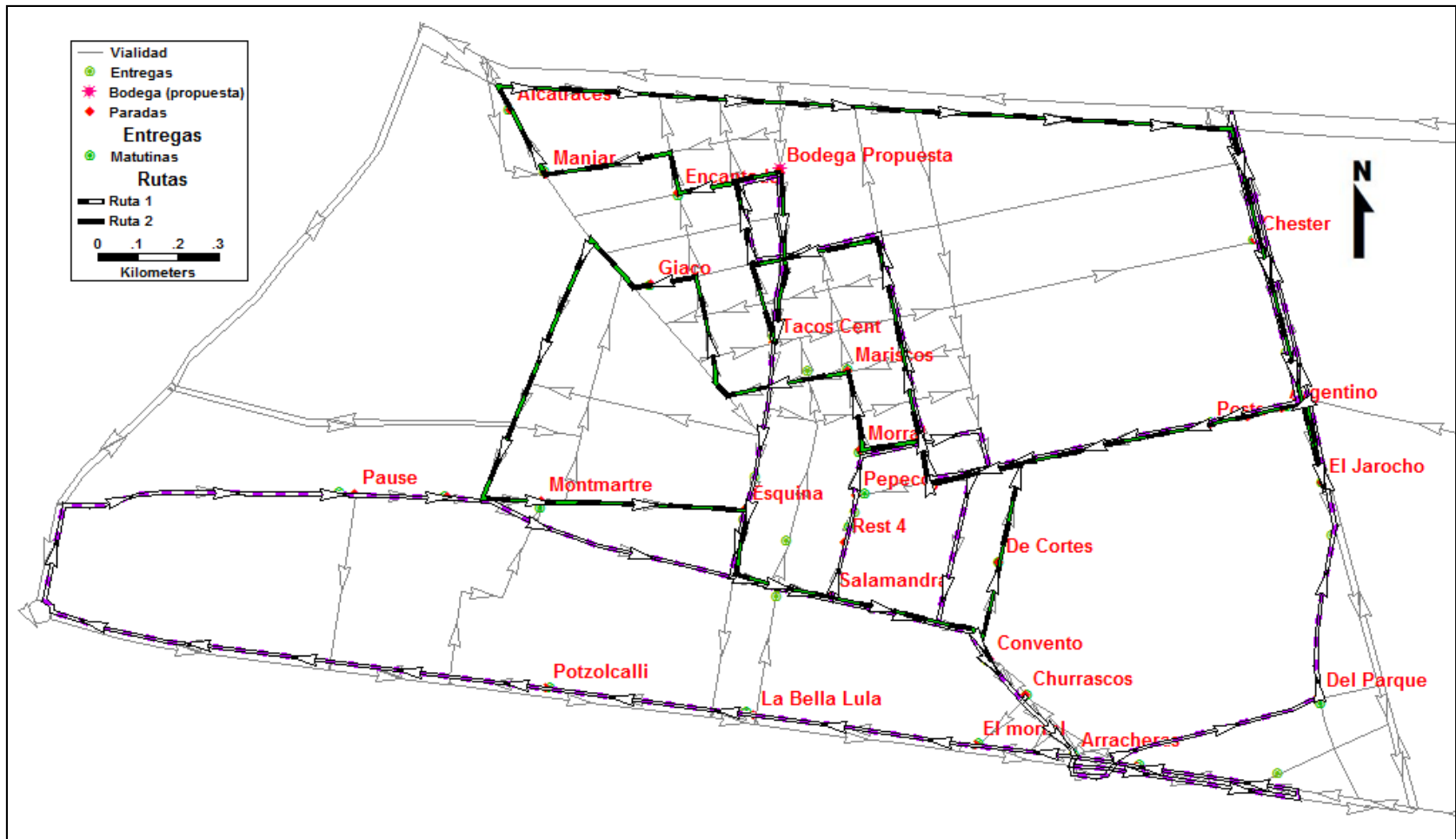


Figura 96 Recorridos que buscan minimizar el tiempo mediante la utilización de entregas diurnas
Fuente: Elaboración propia

Route # : 1		Tot Time: 3:19	Capacity : 144.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 14.6	Depart Load: 62.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	Bodega Propuesta	9:12am		
1	Churrascos	9:22am- 9:36am	1.8	11.0
2	Long Du	9:41am- 9:48am	1.2	4.0
3	El morral	9:50am- 9:57am	0.4	4.0
4	La Bella Lulá	9:59am-10:07am	0.5	4.0
5	Potzolcalli	10:09am-10:24am	0.5	10.0
6	Pause	10:34am-10:41am	2.2	1.0
7	Las Lupitas	10:42am-10:53am	0.2	4.0
8	Salamandra	10:58am-11:10am	0.9	7.0
9	Rest 4	11:11am-11:18am	0.1	2.0
10	Pepecoy	11:18am-11:25am	0.1	3.0
11	Arracheras	11:33am-11:40am	1.4	1.0
12	Del Parque	11:43am-11:50am	0.7	3.0
13	Chester	12:00pm-12:07pm	1.8	3.0
14	El Rey del Taco	12:09pm-12:21pm	0.4	5.0
	END Bodega Propuesta	12:32pm	2.1	
Total			14.6	62.0

Figura 97 Itinerario de la primera ruta diurna para la minimización del tiempo de recorrido

Route # : 2		Tot Time: 3:14	Capacity : 144.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 11.1	Depart Load: 95.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	Bodega Propuesta	8:11am		
1	Tacos Cent	8:13am- 8:22am	0.4	10.0
2	Encantada	8:25am- 8:31am	0.5	1.0
3	Manjar	8:33am- 8:40am	0.4	2.0
4	Alcatraces	8:41am- 8:47am	0.1	1.0
5	El Jarocho	9:00am- 9:07am	2.7	3.0
6	Argentino	9:10am- 9:16am	0.5	2.0
7	Capricho	9:17am- 9:25am	0.0	6.0
8	Posta	9:25am- 9:38am	0.0	8.0
9	Morral	9:42am- 9:57am	0.9	15.0
10	Mariscos	9:59am-10:07am	0.2	6.0
11	Giacó	10:10am-10:17am	0.7	3.0
12	Montmartre	10:22am-10:28am	1.0	1.0
13	Esquina	10:31am-10:54am	0.5	25.0
14	Convento	10:59am-11:07am	0.8	6.0
15	De Cortes	11:08am-11:16am	0.2	6.0
	END Bodega Propuesta	11:25am	1.6	
Total			11.1	95.0

Figura 98 Itinerario de la segunda diurna para la minimización del tiempo de recorrido

6.4.2.2. Escenario F2: Distribución considerando entregas nocturnas minimizando la distancia recorrida

En este escenario se busca minimizar la distancia recorrida al llevar a cabo las entregas, para la obtención de las rutas se toman en cuenta los horarios en los que los establecimientos pueden llevar a cabo la recepción de productos.

Las mejores rutas para reducir el tiempo de recorrido al realizar las entregas nocturnas se muestran en la *Figura 99*. Las rutas inician en la bodega propuesta; los vehículos asignados a las rutas marchan hacia el Sur, llevan a cabo los recorridos y realizan las entregas en los lugares especificados, para finalmente retornar a la bodega, en donde concluyen sus recorridos.

La primera ruta nocturna permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 1 hora 45 minutos, recorriendo una distancia total de 6.0 kilómetros, entregando un total de 94 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 100*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

La segunda ruta nocturna permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 1 hora 51 minutos, recorriendo una distancia total de 2.8 kilómetros, y se realizan entregas por un total de 123 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 101*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

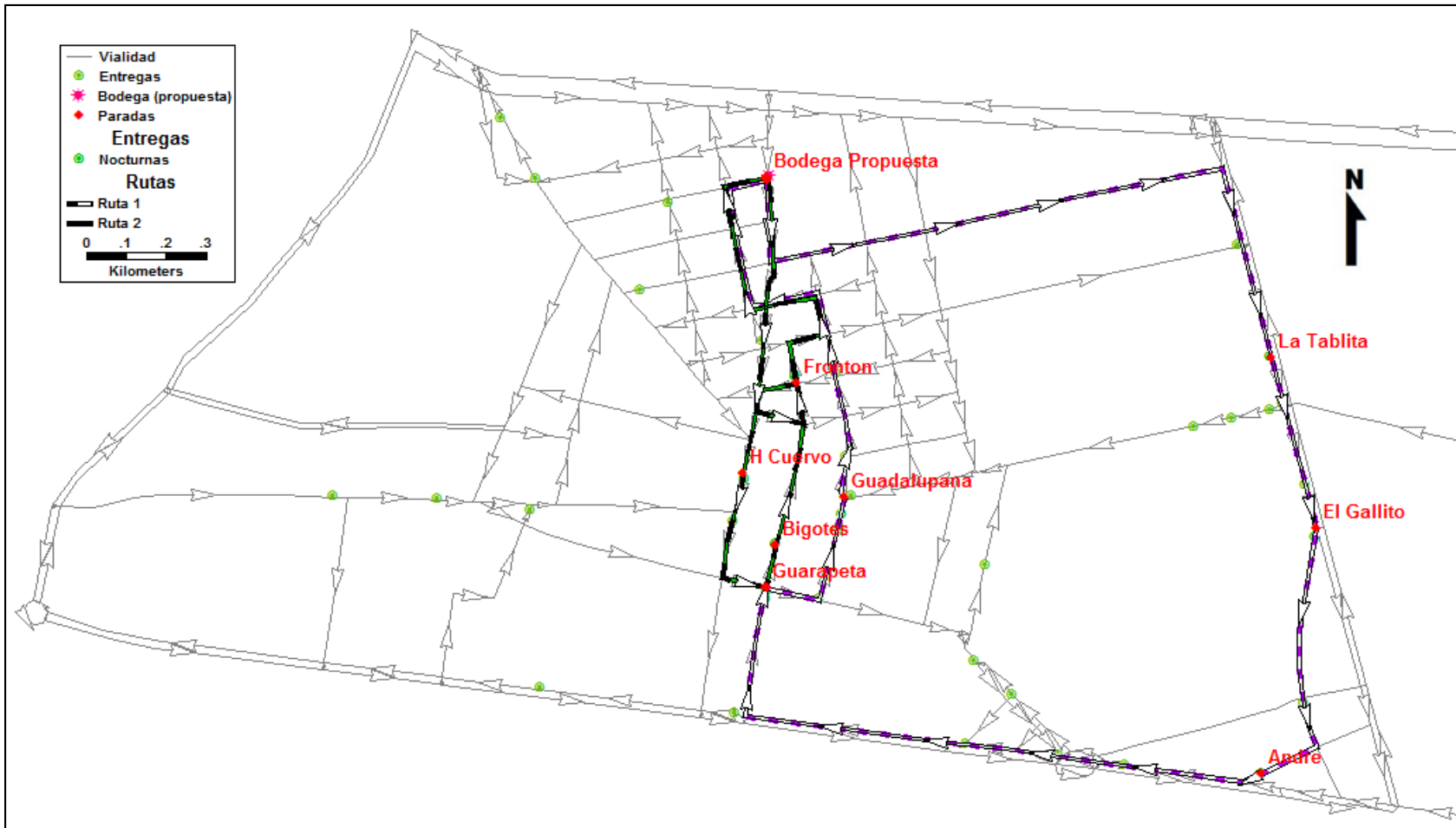


Figura 99 Recorridos que buscan minimizar la distancia recorrida mediante entregas nocturnas
Fuente: Elaboración propia

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
Bodega Propuesta		10:29pm		
1	La Tablita	10:35pm-10:45pm	1.8	8.0
2	El Gallito	10:46pm-10:53pm	0.4	3.0
3	Andre	10:56pm-11:02pm	0.7	2.0
4	Taco Inn	11:07pm-11:29pm	1.6	21.0
5	Guadalupana	11:30pm- 0:10am	0.3	60.0
END	Bodega Propuesta	0:15am	1.0	
Total			6.0	94.0

Figura 100 Itinerario de la primera ruta nocturna para la minimización de la distancia recorrida

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
Bodega Propuesta		11:38pm		
1	Fronton	11:41pm-11:59pm	0.8	25.0
2	H Cuervo	0:00am- 0:25am	0.3	30.0
3	Guarapeta	0:27am- 1:01am	0.3	44.0
4	Bigotes	1:02am- 1:25am	0.1	24.0
END	Bodega Propuesta	1:30am	1.2	
Total			2.8	123.0

Figura 101 Itinerario de la segunda ruta nocturna para la minimización de la distancia recorrida

Las mejores rutas diurnas para reducir la distancia recorrida se muestran en la *Figura 102*. Las rutas inician en la bodega propuesta; el vehículo asignado a la primera ruta marcha hacia el Sur, el vehículo asignado a la segunda ruta se desplaza hacia el Oeste, llevan a cabo los recorridos y realizan las entregas en los lugares especificados, para finalmente retornar a la bodega, en donde concluyen sus recorridos.

La primera ruta diurna permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 2 horas 51 minutos, recorriendo una distancia total de 11.4 kilómetros, entregando un total de 61 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 103*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

La segunda ruta diurna permite cubrir una demanda parcial de la zona en un tiempo de 3 horas 31 minutos, recorriendo una distancia total de 11.4 kilómetros, y se realizan entregas por un total de 96 cajas de producto, tal como se muestra en el itinerario detallado (*Figura 104*) que incluye los horarios y características de entrega considerados.

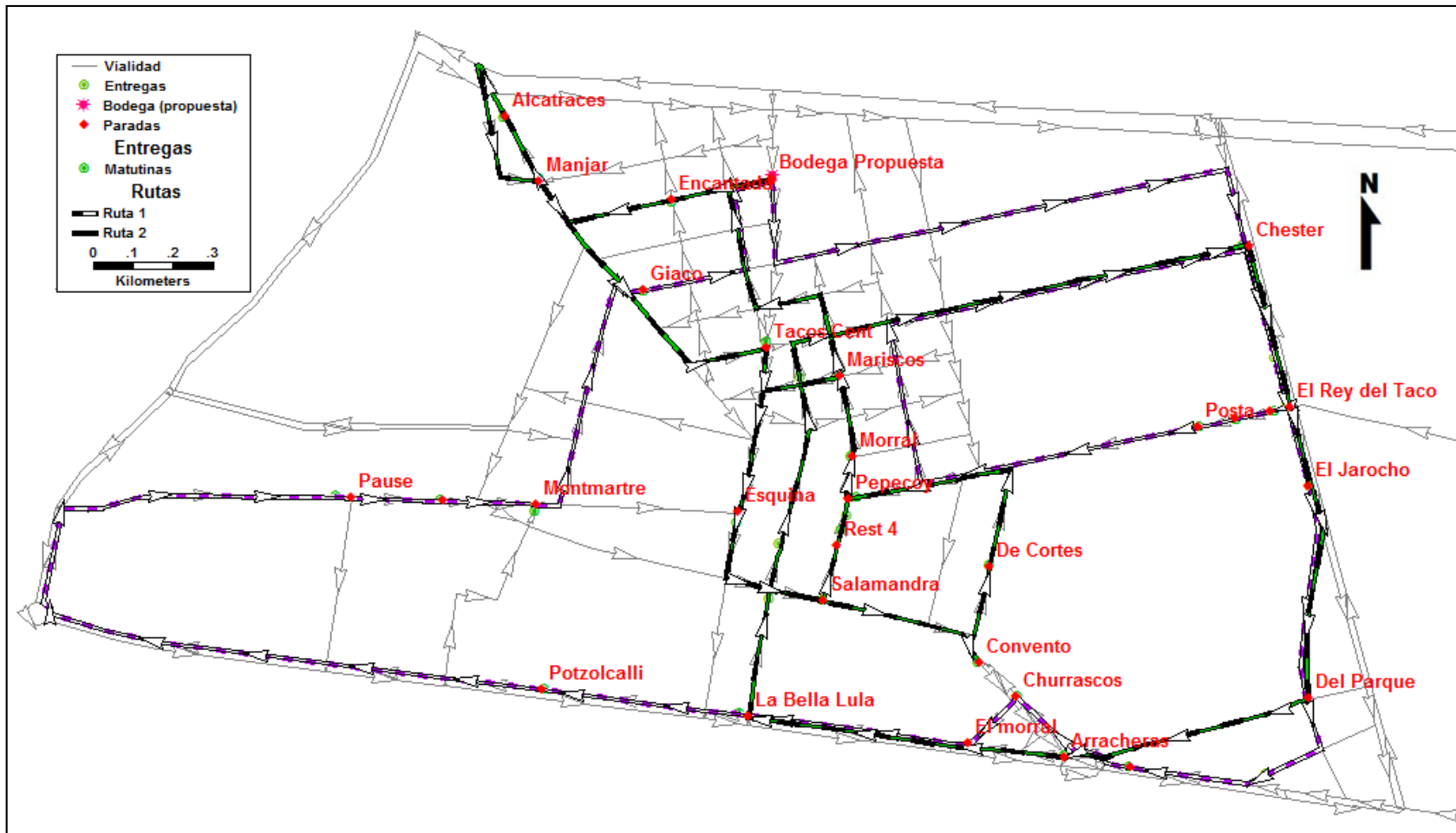


Figura 102 Recorridos que buscan minimizar la distancia recorrida mediante entregas diurnas
Fuente: Elaboración propia

Route # : 1		Tot Time: 2:51	Capacity : 144.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 11.4	Depart Load: 61.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
Bodega Propuesta		8:08am		
1	Argentino	8:19am- 8:25am	1.9	2.0
2	Capricho	8:26am- 8:34am	0.0	6.0
3	Posta	8:34am- 8:47am	0.0	8.0
4	El Jarocho	9:00am- 9:07am	2.6	3.0
5	Long Du	9:12am- 9:19am	1.1	4.0
6	Churrascos	9:21am- 9:35am	0.3	11.0
7	El morral	9:36am- 9:43am	0.1	4.0
8	La Bella Lula	9:45am- 9:53am	0.5	4.0
9	Potzolcalli	9:55am-10:10am	0.5	10.0
10	Pause	10:20am-10:27am	2.2	1.0
11	Las Lupitas	10:28am-10:39am	0.2	4.0
12	Montmartre	10:40am-10:47am	0.2	1.0
13	Giaco	10:50am-10:57am	0.7	3.0
END	Bodega Propuesta	11:00am	0.5	
Total			11.4	61.0

Figura 103 Itinerario de la primera ruta diurna para la minimización de la distancia recorrida

Route # : 2		Tot Time: 3:31	Capacity : 144.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 11.4	Depart Load: 96.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
Bodega Propuesta		9:22am		
1	Encantada	9:24am- 9:30am	0.2	1.0
2	Manjar	9:32am- 9:39am	0.3	2.0
3	Alcatraces	9:40am- 9:47am	0.1	1.0
4	Tacos Cent	9:54am-10:04am	1.3	10.0
5	Salamandra	10:08am-10:21am	0.8	7.0
6	Rest 4	10:21am-10:28am	0.1	2.0
7	Morral	10:29am-10:44am	0.2	15.0
8	Esquina	10:48am-11:12am	0.7	25.0
9	Convento	11:16am-11:24am	0.8	6.0
10	De Cortes	11:26am-11:34am	0.2	6.0
11	Pepecoy	11:37am-11:44am	0.6	3.0
12	Mariscos	11:46am-11:54am	0.3	6.0
13	Chester	12:00pm-12:07pm	1.1	3.0
14	El Rey del Taco	12:09pm-12:21pm	0.4	5.0
15	Del Parque	12:24pm-12:31pm	0.7	3.0
16	Arracheras	12:34pm-12:41pm	0.6	1.0
END	Bodega Propuesta	12:53pm	2.4	
Total			11.4	96.0

Figura 104 Itinerario de la segunda ruta diurna para la minimización de la distancia recorrida

6.4.2.3. Comparación de escenarios que buscan minimizar el tiempo y la distancia

Al agrupar los resultados y realizar la comparación entre ambos escenarios (*Tabla 20*), se tiene que para el escenario F1, en las entregas nocturnas el tiempo total es de 3 horas 36 minutos y la distancia recorrida es de 9 km, en las entregas diurnas el tiempo es de 6 horas 33 minutos y la distancia recorrida es de 25.7 km; mientras que para el escenario F2, en las entregas nocturnas el tiempo total es de 3 horas 36 minutos y la distancia recorrida es de 8.8 km, en las entregas diurnas el tiempo es de 6 horas 22 minutos y la distancia recorrida es de 22.8 km.

Se observa que para las entregas nocturnas, las rutas correspondientes al escenario F2 son las que ofrecen mejores resultados al lograr reducir la distancia recorrida aún cuando ambos escenarios permiten realizar los recorridos en el mismo tiempo; para las entregas diurnas las rutas correspondientes al escenario F2 ofrecen un mejor resultado.

En lo referente a las cajas entregadas, el escenario F1 es el que tiene rutas mejor balanceadas para las entregas diurnas y nocturnas.

Escenario	Ruta	Tiempo de recorrido (h)	Distancia recorrida (km)	Producto entregado (cajas)
Minimizar tiempo (F1)	1N	02:02	6.1	102
	2N	01:34	2.9	115
	1D	03:19	14.6	62
	2D	03:14	11.1	95
Minimizar distancia (F2)	1N	01:45	6.0	94
	2N	01:51	2.8	123
	1D	02:51	11.4	61
	2D	03:31	11.4	96

Tabla 20 Resultados de la utilización de una ruta para entregas nocturnas (N) y dos rutas diurnas (D)
Fuente: Elaboración propia

Es importante considerar que la duración de las rutas en ambos escenarios no excede las 4 horas, por lo que puede ser factible contemplar periodos de descanso o alimentación, paradas para ir al baño, entre otros. Al tratarse de una zona con gran actividad cultural, administrativa y de esparcimiento, existen

condiciones de seguridad por parte de elementos de la Secretaría de Seguridad Pública que pueden ser aprovechadas al llevar a cabo las entregas nocturnas.

7. DETERMINACIÓN DE LAS MEJORES RUTAS PARA LA DISTRIBUCIÓN

Una vez que han sido definidos los escenarios y los recorridos relacionados a ellos, y se obtuvieron sus valores para la distancia y el tiempo de recorrido, es necesario llevar a cabo la comparación de los resultados obtenidos de manera que permita seleccionar al conjunto de rutas cuyas características resulten más convenientes, de acuerdo con criterios determinados, para llevar a cabo la distribución de los productos.

Se retoma del capítulo anterior el reporte de resultados de cada uno de los escenarios, en donde se incluyó una primera comparación de los valores obtenidos; a continuación se enuncian nuevamente los resultados de cada uno de los escenarios así como las características a considerar en el análisis para la toma de decisión.

7.1.Resultados obtenidos

Las tablas de resultados que se mostraron en el capítulo anterior (tablas 13, 14, 15, 17, 19 y 20) contienen información resumida que para fines del análisis requiere ser ampliada, por lo que se buscó señalar algunos de los aspectos relevantes para la toma de decisiones.

En primera instancia los datos obtenidos fueron agrupados en dos tablas de acuerdo con los puntos a partir de los cuales se inician las rutas de reparto, es decir, los escenarios cuyas rutas parten del CeDis se ubican en la *Tabla 21*, y los escenarios cuyos recorridos inician en la bodega propuesta se encuentran en la *Tabla 23*. La información inicial permite considerar factores como el tiempo, la distancia recorrida y el número de cajas entregadas en cada ruta, sin embargo, a ello se le puede relacionar información de diversa índole que ofrezca un panorama más amplio de las condiciones bajo las cuales se realizan las entregas, permitiendo con ello tomar mejores decisiones. De forma adicional se incluyen en la *Tabla 22* los datos correspondientes a la ruta que se utilizaría para el abasto de la bodega propuesta.

Los datos que se incluyen en las tablas 21 y 23 son los siguientes: el número de vehículos requeridos para llevar a cabo las entregas con el escenario planteado (columna 4); el número de cajas entregadas en cada una de las rutas (columna 6); el tiempo utilizado para completar el recorrido (columna 7); el tiempo requerido para realizar las entregas, contabilizado a partir de que se comienza a descargar las cajas con

cerveza que serán entregadas y hasta que se terminan de acomodar en el vehículo las cajas con envases vacíos (columna 8); tiempo en que el vehículo permanece en movimiento, al trasladarse de un punto de demanda a otro (columna 9), tiempo de espera entre entregas, al no poder realizar la siguiente entrega por estar fuera de la ventana de tiempo (columna 10); distancia recorrida (columna 13), y las emisiones de CO₂ generadas (columna 14); para cada uno de los escenarios se incluye el tiempo total de recorrido (columna 11) y el promedio de las rutas (columna 12).

Los valores de las emisiones fueron calculados con base en la siguiente expresión (CICC, 2011)

$$Emisiones\ CO_2 = \frac{distancia}{Factor\ de\ consumo} Factor\ de\ emisión$$

Para los vehículos eléctricos fue considerado un factor de emisión de $0.4946 \frac{kg\ CO_2}{kWh}$ (SEMARNAT, 2010) y un consumo estimado de $4.5 \frac{km}{kWh}$; para los vehículos diesel se consideró un factor de emisión de $2.61 \frac{kg\ CO_2}{l}$ (CICC, 2011) y un consumo estimado de $3.5 \frac{km}{l}$.

Los valores reportados para el tiempo total y distancia total recorrida en los escenarios agrupados en la *Tabla 24*, además de la suma de los tiempos correspondientes a cada ruta contemplan el tiempo y la distancia recorrida en la ruta utilizada para abastecer la bodega propuesta, lo que permitirá llevar a cabo una adecuada comparación.

7.2. Selección del escenario

De los resultados enunciados en el apartado anterior, es necesario realizar una primera comparación para determinar el escenario que represente la mejor opción entre los escenarios que cuenten con características similares (por ejemplo los escenarios A1 y A2), teniendo como criterio de selección el tiempo o la distancia. Los escenarios que representan la mejor opción respecto al tiempo y/o la distancia de recorrido cuyas rutas tienen su origen en el CeDis se señalan en la *Tabla 24*, los escenarios que representan la mejor opción respecto al tiempo y/o la distancia de recorrido y cuyos recorridos inician en la bodega propuesta se señalan en la *Tabla 25*.

Escenario			Número de vehículos (combustión interna)	Identificador de la Ruta	Entregas (cajas)	Tiempo (h)						Distancia (Km)	Emisiones CO ₂ (Kg)
Identificador	Características	Objetivo (minimizar...)				Ruta	Entrega	Recorrido	Espera	Total	Media		
A1	Una ruta	Tiempo	1	1	374	09:34	07:32	02:02	00:00	09:34	09:34	27.03	20.157
A2		Distancia	1	1	374	09:35	07:32	02:03	00:00	09:35	09:35	27.03	20.157
B1	Dos rutas	Tiempo	2	1	189	08:10	06:00	02:10	02:21	13:56	06:58	28.52	21.268
				2	185	05:46	04:53	01:53	00:00			24.61	18.352
B2		Distancia	2	1	260	08:11	06:21	01:50	01:48	12:57	06:28	23.38	17.435
				2	114	04:46	02:59	01:47	00:00			22.91	17.084
C1	Tres rutas, dos horarios	Tiempo	3	1,M	123	04:30	02:42	01:48	00:00	12:22	04:07	23.38	17.435
				2,M	117	04:30	02:43	01:47	00:00			24.09	17.964
				1,V	134	03:22	02:07	01:15	00:00			16.9	12.603
C2		Distancia	3	1,M	114	04:10	02:23	01:47	00:00	12:18	04:06	22.94	17.107
				2,M	126	04:46	03:03	01:43	00:00			22.66	16.898
				1,V	134	03:22	02:06	01:16	00:00			16.64	12.409
D1	Tres rutas, dos horarios, incluye entregas nocturnas	Tiempo	2	1,D	71	03:57	02:11	01:46	00:00	11:49	03:56	22.88	17.062
				2,D	86	03:51	02:15	01:36	00:00			21.28	15.869
				1,N	217	04:01	03:06	00:55	00:00			19.37	14.444
D2		Distancia	2	1,D	59	04:26	02:39	01:47	00:50	12:56	04:18	23.48	17.509
				2,D	98	04:27	02:37	01:50	00:00			23.56	17.569
				1,N	217	04:03	03:06	00:57	00:00			19.3	14.392

Tabla 21 Resultados correspondientes a los escenarios con origen en el CeDis. Fuente: Elaboración propia

Escenario	Número de vehículos (combustión interna)	Entregas (cajas)	Tiempo (h)						Distancia (Km)	Emisiones CO ₂ (Kg)
			Ruta	Entrega	Recorrido	Espera	Total	Media		
CeDis a Bodega	1	374	02:29	01:30	00:59	00:00	02:29	02:29	8.67	6.465

Tabla 22 Resultados para la ruta que permita trasladar productos del CeDis a la bodega propuesta. Fuente: Elaboración propia

Escenario			Número de vehículos (eléctricos)	Identificador de la Ruta	Entregas (cajas)	Tiempo (h)						Distancia (Km)	Emisiones CO ₂ (Kg)
Identificador	Características	Objetivo (minimizar...)				Ruta	Entrega	Recorrido	Espera	Total	Media		
E1	<i>Tres rutas, dos horarios</i>	Tiempo	3	1,M	113	03:42	02:36	01:06	00:00	12:29	03:20	13.76	1.512
				2,M	127	03:39	02:49	00:50	00:00			9.66	1.062
				1,V	134	02:39	02:07	00:32	00:00			6.27	0.689
E2	Distancia	3	3	1,M	130	03:49	02:47	01:02	00:00	12:27	03:19	12.68	1.394
				2,M	110	03:30	02:38	00:52	00:00			9.65	1.061
				1,V	134	02:39	02:07	00:32	00:00			6.09	0.669
F1	<i>Cuatro rutas, dos horarios, incluye entregas nocturnas</i>	Tiempo	2	1,D	62	03:19	02:07	01:12	00:00	12:38	02:32	14.55	1.599
				2,D	95	03:14	02:18	00:56	00:00			11.13	1.223
				1,N	102	02:02	01:43	00:19	00:00			6.09	0.669
				2,N	115	01:34	01:24	00:10	00:00			2.94	0.323
F2	Distancia	2	2	1,D	61	02:51	01:56	00:55	00:00	12:27	02:29	11.39	1.252
				2,D	96	03:31	02:30	01:01	00:00			11.41	1.254
				1,N	94	01:45	01:25	00:20	00:00			6	0.659
				2,N	123	01:51	01:41	00:10	00:00			2.85	0.313

Tabla 23 Resultados correspondientes a los escenarios con origen en la bodega propuesta. Fuente: Elaboración propia

A excepción del escenario D incluido en la *Tabla 24*, se seleccionaron las rutas a partir de un solo escenario que redujera el tiempo o la distancia, tal como se señalan en las tablas 24 y 25. Las rutas del escenario D fueron seleccionadas de escenarios diferentes, debido a que las rutas diurnas corresponden a las del escenario D1, mientras que para la ruta nocturna corresponde a la del escenario D2, sin que lo anterior altere la distribución de clientes determinada para cada horario.

Con los datos señalados hasta el momento se puede llevar a cabo la selección con base en tres criterios que se buscará minimizar: la distancia recorrida, el tiempo de recorrido (total y promedio de las rutas) y las emisiones de CO₂.

Se decidió añadir como criterio adicional a los ya mencionados, el costo diario estimado por la operación de los vehículos requeridos para la realización de las entregas.

Un aspecto importante a recordar es que para los escenarios con origen en el CeDis, los vehículos considerados para llevar a cabo la distribución del producto son de combustión interna, mientras que para los escenarios con origen en la bodega propuesta el vehículo que permite abastecerla es de combustión interna y los vehículos para el reparto a los clientes son eléctricos.

Para determinar el costo diario por el uso de los camiones se consideró que el costo aproximado del vehículo eléctrico es de US\$14,000 mientras que el del vehículo diésel ronda en los US\$55,000; con los datos anteriores se obtuvo el precio de renta diario de un camión diésel de características similares a los utilizados en el reparto del producto de \$2,132.00 (READYTORENT, 2015), para obtener el precio de renta diario para un vehículo eléctrico se consideró una proporción similar entre el valor del vehículo diésel y el de renta por día, obteniendo un valor de \$542.00 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Además, se consideró un salario mensual promedio tanto para el operador del vehículo como para su ayudante, encargado de realizar las entregas, de \$5,000.00 (Indeed, 2015) y teniendo en cuenta que un mes tiene en promedio 24 días laborables, correspondería a un salario diario de \$208.33, valor que se consideró razonable comparado con el salario mínimo profesional de \$104.55 por día correspondiente al rubro de chofer de camión de carga en general (STPS, 2015).

Escenario			Vehículos (combustión interna)	Identificador de la ruta	Entregas (cajas)	Tiempo		Distancia (Km)	Emisiones CO2 (Kg)	Total		
Identificador	Características	Antecesor				Ruta	Media			Distancia (km)	Tiempo (h)	Emisiones (kg CO2)
A	Una ruta	A1	1	1	374	09:34	09:34	27.03	20.157	27.03	09:34	20.157
B	Dos rutas	B2	2	1	260	08:11	06:28	23.38	17.435	46.29	12:57	34.519
				2	114	04:46		22.91	17.084			
C	Tres rutas, dos horarios	C2	3	1,M	114	04:10	04:06	22.94	17.107	62.24	12:18	46.413
				2,M	126	04:46		22.66	16.898			
				1,V	134	03:22		16.64	12.409			
D	Tres rutas, dos horarios, entregas nocturnas	D1 D2	2	1,D	71	03:57	03:57	22.88	17.062	63.46	11:51	47.323
				2,D	86	03:51		21.28	15.869			
				1,N	217	04:03		19.3	14.392			

Tabla 24 Rutas que representan la mejor opción al minimizar el tiempo y/o la distancia para los escenarios con origen en el CeDis.

Fuente: Elaboración propia

Escenario			Vehículos (eléctricos)	Identificador de la Ruta	Entregas (cajas)	Tiempo		Distancia (Km)	Emisiones CO2 (Kg)	Total		
Identificador	Características	Antecesor				Ruta	Media			Distancia (km)	Tiempo (h)	Emisiones (kg CO2)
E	Tres rutas, dos horarios	E2	3	1,M	130	03:49		12.68	1.394	37.09	12:27	9.589
				2,M	110	03:30	03:19	9.65	1.061			
				1,V	134	02:39		6.09	0.669			
F	Cuatro rutas, dos horarios, entregas nocturnas	F2	2	1,D	61	02:51		11.39	1.252	40.32	12:27	9.944
				2,D	96	03:31	02:29	11.41	1.254			
				1,N	94	01:45		6	0.659			
				2,N	123	01:51		2.85	0.313			

Tabla 25 Rutas que representan la mejor opción al minimizar el tiempo y/o la distancia para los escenarios con origen en la bodega propuesta.

Fuente: Elaboración propia

Vehículo	Valor (USD)	Renta (\$/día)
Diesel	\$55,000.00	\$2,132.00
Eléctrico	\$14,000.00	\$542.00

Tabla 26 Relación valor – renta de los vehículos

Fuente: Elaboración propia

En lo referente al costo por producción de emisiones de CO₂, se consideró el valor de los bonos de carbono, el cual corresponde al costo por emitir una tonelada (1000 kg) de CO₂ a la atmósfera, al que le corresponde un valor de €6.45 (Investing, 2015), equivalente a \$111.68, teniendo un valor equivalente de \$0.11 por kg de CO₂ emitido.

El costo del litro de diésel fue considerado en \$14.20 (AMEGAS, 2015) y el kWh en \$2.79 (CFE, 2015), precio que corresponde a la tarifa comercial.

Con las consideraciones anteriores, se llevó a cabo la estimación del costo de operación diario (Tabla 27) que fue calculado de la forma siguiente

$$\begin{aligned}
 \text{Costo de Operación}_{estimado} &= \text{Costo diario}_{V.D.} + \text{Costo diario}_{V.E.} + \text{Salarios}_{diarios} + \text{Costo}_{emisiones} \\
 &+ \text{Costo}_{combustible} + \text{Costo}_{energía}
 \end{aligned}$$

Donde

$$\text{Costo diario}_{V.D.} = \#Vehículos_{diésel} \times \text{Costo Renta}_{diaria V. D.}$$

$$\text{Costo diario}_{V.E.} = \#Vehículos_{eléctricos} \times \text{Costo Renta}_{diaria V.E.}$$

$$\text{Salarios}_{diarios} = \#Personas \times \text{Salario}_{diario}$$

$$\text{Costo}_{emisiones} = \text{Emisiones}_{CO_2} \times \text{Costo Bono de Carbono}_{kg CO_2}$$

$$\text{Costo}_{combustible} = \text{Consumo diario}_{diésel} \times \text{Costo por litro}_{diesel}$$

$$\text{Costo}_{energía} = \text{Consumo diario}_{KWh} \times \text{Costo por KWh}$$

Una vez generada la información necesaria, se realizó la comparación de los escenarios con base en los cuatro criterios establecidos (tiempo, distancia recorrida, emisiones de CO₂ y costo estimado de operación), con el objetivo de determinar el escenario con las mejores rutas para llevar a cabo la distribución del producto.

Origen	Escenario	Vehículos diesel	Renta diaria V.D.	Vehículos eléctricos	Renta diaria V.E.	Personal	Salario diario	Emisiones (kg-CO2)	Costo diario por bonos de carbono	Consumo diario diésel (l)	Costo de combustible	Consumo diario energía eléctrica (KWh)	Costo de energía eléctrica	Costo de Operación estimado
CeDis	Una ruta	1	\$ 2,132.00	0	\$ -	2	\$ 416.67	20.157	\$ 2.22	7.72	\$ 109.66	0	\$ -	\$ 2,660.55
	Dos rutas	2	\$ 4,264.00	0	\$ -	4	\$ 833.33	34.519	\$ 3.80	13.23	\$ 187.81	0	\$ -	\$ 5,288.94
	Tres rutas, dos horarios	3	\$ 6,396.00	0	\$ -	6	\$ 1,250.00	46.413	\$ 5.11	17.78	\$ 252.52	0	\$ -	\$ 7,903.62
	Tres rutas, dos horarios, entregas nocturnas	3	\$ 6,396.00	0	\$ -	6	\$ 1,250.00	47.323	\$ 5.21	18.13	\$ 257.47	0	\$ -	\$ 7,908.67
Bodega Propuesta	Tres rutas, dos horarios	1	\$ 2,132.00	3	\$ 1,626.00	8	\$ 1,666.67	9.589	\$ 1.05	2.48	\$ 35.18	6.32	\$ 17.62	\$ 5,478.52
	Cuatro rutas, dos horarios, entregas nocturnas	1	\$ 2,132.00	2	\$ 1,084.00	10	\$ 2,083.33	9.944	\$ 1.09	2.48	\$ 35.18	7.03	\$ 19.62	\$ 5,355.23

Tabla 27 Costo estimado de operación en cada escenario

Fuente: Elaboración propia

El proceso para la selección del escenario con las mejores rutas para la distribución de cerveza en el Centro Histórico de Coyoacán consistió en realizar la comparación de los escenarios con base en un criterio establecido e ir desestimando el o los escenarios cuyas rutas presenten los resultados más desfavorables. Los resultados considerados en las comparaciones son los reportados en las *Tablas 25, 26 y 27*.

Se consideró al tiempo de recorrido como primer criterio de selección, observando que en lo referente al tiempo promedio de recorrido de las rutas, los escenarios muestran tiempos menores a las 8 horas, excepto el escenario A, correspondiente a la realización de las entregas mediante una ruta con origen en el CeDis, que lleva a cabo su recorrido en 9 horas 34 minutos, lo que excede la jornada laboral de 8 horas, además no considera las ventanas de tiempo correspondientes a las entregas y no tiene tiempos de espera que pudiesen ser utilizados para satisfacer necesidades básicas de los trabajadores como alimentación e ir al baño, razones por las cuales el escenario A fue desestimado.

Como segundo criterio de selección se consideró a la distancia recorrida, observando que los escenarios C y D realizan recorridos totales más largos en alrededor del 50% respecto a los recorridos realizados en los escenarios B, E y F; al utilizar vehículos de combustión interna, los escenarios C y D se encuentran directamente relacionados con un mayor requerimiento de combustible para llevar a cabo la distribución del producto, razones por las cuales ambos escenarios fueron desestimado.

Las emisiones de CO₂ son un factor considerado por las empresas en aras de una nueva conciencia ecológica y en algunos casos forman parte de sus nuevas políticas para disminuir el impacto al medio ambiente, por lo que se consideró a las emisiones como el tercer criterio de decisión. La utilización de vehículos eléctricos en los escenarios E y F permite obtener una reducción de prácticamente el 70% de las emisiones generadas en el escenario B, razón por la cual este último escenario fue desestimado.

Finalmente, la estimación del costo diario de operación fue considerada como el cuarto criterio de decisión. Se observa que el escenario F ofrece un costo de operación menor en \$123.29 respecto al ofrecido por el escenario E, razón por la cual el escenario E fue desestimado.

Con base en lo anterior se determinó que para llevar a cabo la distribución del producto de acuerdo con los criterios señalados, el escenario más favorable es el F, que corresponde al de *Cuatro rutas, dos horarios, entregas nocturnas con origen en una bodega propuesta*.

CONCLUSIONES

El Centro de Coyoacán es un ícono para la Ciudad de México que se ha convertido en un polo económico atractor en la zona sur, al ser un sitio considerado como Barrio Mágico, en el que coexisten principalmente oficinas del Gobierno Delegacional, espacios con actividades comerciales, culturales y turísticas, y zonas habitacionales, lo que aunado al incremento en el uso de vehículos particulares y a la limitada oferta de espacios de estacionamiento han generado a lo largo de los años un conflicto vial cada vez más importante en detrimento de la calidad de vida de los que ahí habitan y de las expectativas de los visitantes.

Ante tal situación, es de gran importancia generar alternativas que contribuyan a mitigar los efectos negativos causados, entre otros, por los vehículos con que se lleva a cabo la distribución urbana de mercancías (DUM) en el entendido de que la DUM es una actividad básica e inevitable para el funcionamiento de cualquier ciudad; es en este rubro en donde el presente trabajo buscó generar una aportación.

La programación lineal ofrece un modelo conocido como el Problema de Rutas de Vehículos (VRP), que parte de que se requiere determinar un conjunto de rutas óptimas para la distribución desde uno o varios depósitos hasta la ubicación de cierto grupo de clientes, lo que ha generado gran interés tanto en la academia como en la industria por estar relacionado con la DUM.

El VRP puede ir incorporando diferentes condiciones para las rutas de distribución en función de las características específicas del problema que se aborda; para la distribución de cerveza se observó que uno de los factores importantes a considerar en la generación de rutas de distribución, en conjunto con la ubicación de los establecimientos, la demanda del producto y la capacidad de carga de los vehículos, son las ventanas de tiempo en las que los clientes pueden llevar a cabo la recepción de los diversos insumos necesarios para la prestación de los servicios propios de cada uno. En la zona de estudio son pocos los establecimientos que cuentan con accesos de servicio para recibir a sus proveedores, lo que limita los horarios en que pueden llevar a cabo la recepción de insumos de manera que no afecte el servicio que proporcionan a sus clientes, razón por la cual, las ventanas de tiempo adquieren mayor relevancia.

Por tanto, se señala que para poder cumplir con las entregas que permitan satisfacer la demanda del producto, al momento de determinar los recorridos que realizarán los vehículos, es esencial tomar en

cuenta los horarios de recepción establecidos por los clientes, aún cuando los factores de carga para algunos de los vehículos considerados en los escenarios sean menores al 50% de su capacidad.

Por las consideraciones anteriores, se recurrió al modelado de un problema del tipo VRP con ventanas de tiempo (VRP-TW), planteando para ello un conjunto de escenarios que permiten representar las posibles condiciones con las que se llevaría a cabo la distribución de cerveza, y con base en ellos se determinarían las mejores soluciones que permitieran reducir, en primera instancia, el tiempo o la distancia recorridos, obteniendo las rutas cuyas características se detallan en el capítulo 6.

Por lo general, los criterios utilizados para determinar la mejor solución para un problema del tipo VRP-TW son el tiempo o la distancia recorrida, sin embargo se consideró adecuado incluir como criterios adicionales de decisión al costo de operación estimado de las rutas y a las emisiones de CO_2 .

Las emisiones de CO_2 son un factor importante que consideran las empresas, y que en los últimos años ha tenido un gran auge ante la creciente conciencia ecológica, lo que ha influenciado a que se busquen opciones más amigables con el medio ambiente.

Para determinar los mejores recorridos para la distribución se buscó generar un conjunto de soluciones Pareto-optimal, lo que implica que la solución considerada como la mejor opción no necesariamente obtenga los mejores resultados para todos los criterios establecidos, aún cuando sería deseable que existiera alguna que cumpla con todos ellos. Tras una primera comparación se observó que para los escenarios propuestos en condiciones similares para el reparto, realizar la distribución de cerveza con recorridos que inician a partir de la ubicación de la bodega propuesta permite reducir significativamente el tiempo y la distancia de recorrido en comparación con las rutas que inician en el Centro de Distribución (CeDis), además, la utilización de vehículos eléctricos representa una mejor opción en comparación con la utilización de vehículos de combustión interna al generar emisiones hasta 75% menores.

Después de realizar la comparación de escenarios con base en los criterios propuestos, se determinó que la mejor opción para la distribución de cerveza en el Centro Histórico de Coyoacán es la que considera utilizar la bodega propuesta, una ruta troncal con un vehículo de combustión interna que permita llevar los productos desde el CeDis hasta la bodega y cuatro rutas con vehículos eléctricos para realizar las entregas en los establecimientos, dos de ellas en horario nocturno.

Llevar a cabo la distribución de productos de esta manera representa una buena alternativa para disminuir la congestión vehicular en horarios de alta afluencia al permitir trasladar parte de la actividad de los vehículos de reparto a horarios en que la congestión ha disminuido considerablemente, inclusive en fines de semana en donde la vida nocturna de la zona es más intensa. Para los recorridos nocturnos, al reducirse la congestión en las vialidades debido al horario, se agilizaría la circulación de los vehículos y facilitaría que pudieran estacionarse en lugares más próximos a los establecimientos sin causar afectaciones negativas significativas aún cuando no se cuente con espacios específicos para realizar las operaciones de carga y descarga. Para los recorridos diurnos, al utilizar vehículos de menor tamaño, se reduce la contribución a la congestión ocasionada por las actividades de distribución. Finalmente el traslado de los productos desde el CeDis hasta la bodega propuesta no requiere ser realizado en un horario específico, siempre y cuando los productos estén disponibles para cubrir la demanda de cada una de las rutas de distribución, por lo que podría llevarse a cabo en horario nocturno.

Sin embargo, para poder implementar esta clase de medidas, es necesario que por parte de la autoridad delegacional existan incentivos que entre otras cosas faciliten la migración y permanencia de los establecimientos hacia este tipo de prácticas; también se requiere contar con garantías de seguridad para las empresas que hasta cierto punto se encontrarían cubiertas debido a la vigilancia existente en la zona.

Para la elaboración de este trabajo se presentaron dificultades para la obtención de información en el sentido de la poca apertura existente por parte de los responsables de establecimientos y de los proveedores, quizá como protección motivada por la inseguridad o como muestra de cierto celo profesional, lo que se tradujo en la necesidad de realizar estimaciones para algunos datos de la demanda del producto. Desde el punto de vista comercial, la falta de acceso a información específica de la demanda del producto abre la posibilidad a realizar futuras investigaciones de mercado que permitan obtener información más detallada, entre otros, de la demanda y características de consumo, y determinar el tipo de productos complementarios no competidores que pudieran ser introducidos para su distribución desde la bodega propuesta, de forma que funcionara como una micro plataforma logística; desde el punto de vista académico, se podrían desarrollar nuevas metodologías para generar y determinar criterios adecuados que permitan evaluar los efectos económicos, sociales y medioambientales de llevar a cabo un proyecto de este tipo. Finalmente, es importante señalar que el procedimiento llevado a cabo para determinar las mejores rutas para la distribución de cerveza puede ser utilizado para obtener las rutas de distribución de otros productos que presenten condiciones similares para su entrega.

REFERENCIAS

Ahuja, R., et al., (1993), *Network Flows. Theory, Algorithms, and Applications*. Prentice Hall, New Jersey, USA. 846 pp.

Antún, J.P., (2013), *Distribución urbana de mercancías*. Vol. 56 de *Serie Docencia*. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 148 pp.

Asociación Mexicana de Empresarios Gasolineros A.C. – AMEGAS, (2015), *Aumento de precios para el 2015*. [En línea]. México, disponible en <http://www.amegas.net/PRECIOS.pdf>. Fecha de consulta: 19-03-2015

Bektaş, T., Laporte, G. (2011) *The Pollution-Routing Problem*, Transportation Research. Part B, Volumen 45, pp. 1232 – 1250.

Bolsa de trabajo – Indeed, (2015), *Ofertas de trabajo; empleos de chofer*. [En línea]. México, disponible en <http://www.indeed.com.mx/>. Fecha de consulta: 19-03-2015

Caliper Corporation – CALIPER, (1999), *Routing and Logistics with TransCAD*. Manual de Usuario, USA. 96 pp.

Cámara Nacional de la Industria de la Cerveza y de la Malta – CANICERM, (2009), *Datos Relevantes*. [En línea]. México, disponible en <http://www.canicerm.org.mx/>. Fecha de consulta: 08-11-2013

Comisión Federal de Electricidad – CFE, (2015), *Conoce tu tarifa*. [En línea]. México, disponible en http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp. Fecha de consulta: 19-03-2015

Comisión Interdepartamental del Cambio Climático – CICC (2011), *Guía práctica para el cálculo de emisiones de efecto invernadero (GEI)*. Versión de marzo. Generalitat de Catalunya. España. 66 pp.

Comisión Nacional de Normalización Técnica y Calidad – CNNTyC, (2007), NTON 03 038 – 06, *Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense – Bebidas Fermentadas. Cerveza*. Especificaciones. Ministerio de Fomento, Industria y Comercio, Nicaragua.

Cauhtémoc Moctezuma – CUAMOC, (2013). *Esencia Cauhtémoc Moctezuma; Nuestras Marcas*. [En línea]. México, disponible en <http://www.cuamoc.com/es>. Fecha de consulta: 30-11-2013

Dantzig, G. B., Ramser, J. H., (1959), *The Truck Dispatching Problem*, Management Science, Volumen 6, No. 1. Octubre, pp. 80-91.

De Rus, G., et al., (2003), *Economía del Transporte*. Capítulos 2 y 8, Antoni Bosch, Barcelona España.

Eksioglu, B., et al., (2009), *The Vehicle Routing Problem: A taxonomic review*, Computers & Industrial Engineering, Volumen 57, pp. 1472 – 1483.

El portal del transporte mexicano – Transporte.mx (2013). *Pondrá el gobierno del DF cambios en horarios al transporte de carga*. [En línea]. México, disponible en <http://www.transporte.mx/pondra-el-gobierno-del-df-cambios-en-horarios-al-transporte-de-carga/>. Fecha de consulta: 10-12-2013

Figliozzi, M., (2009), *Emissions Minimizations Vehicle Routing Problem*, Submitted to the 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Agosto 2009.

Fusion Media Ltd - Investing.com (2015), Emisiones de Carbono – Dec 15, información histórica. [En línea]. Estados Unidos, disponible en <http://mx.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data>. Fecha de consulta: 14-11-2013

Gakenheimer, R., (1999), *Urban mobility in the developing world*, Transportation Research. Part A, Volumen 33, pp. 671 – 689.

Gobierno del Distrito Federal – GDF (2003), *Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal*. Gaceta Oficial No.103bis. Diciembre 31, 2003. Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, Gobierno del Distrito Federal.

Gobierno del Distrito Federal – GDF (2010a), *Programa Integral de Transporte y Vialidad 2007 – 2012*. Gaceta Oficial No.803bis. Marzo 22, 2010. Secretaría de Transportes y Vialidad, Gobierno del Distrito Federal.

Gobierno del Distrito Federal – GDF (2010b), *Programa de Desarrollo Urbano para la Delegación Coyoacán*. Gaceta Oficial No.901 Tomo II. Agosto 10, 2010. Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, Gobierno del Distrito Federal.

Grupo Modelo, (2013). *Producción; Nuestras Marcas*. [En línea]. México, disponible en <http://www.gmodelo.com.mx/home.jsp>. Fecha de consulta: 16-11-2013

INDUSERV S.A.S., (2009). “La cerveza”. *Experiencia cervecera*. [En línea]. Colombia, disponible en http://www.apostol.com.co/la_cerveza.php. Fecha de consulta: 04-11-2013

Instituto Nacional de Estadística y Geografía - INEGI., (2013). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas - DENUE*. [En línea]. México, disponible en <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/denue/default.aspx> Fecha de consulta: 14-11-2013

Lin, S.-W., et al., (2009), *Applying hybrid meta-heuristics for capacitated vehicle routing problem*, Expert Systems with Applications, Volumen 36, pp. 1505-1512.

Lyons, L., (2012), *Metodología para la evaluación de los impactos de políticas públicas sobre el sistema de transporte de carga urbano*. Tesis doctoral, Posgrado en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 1 – 30.

Lozano, A., et al., (2006). *Estudio Integral Metropolitano de Transporte de Carga y Medio Ambiente para el Valle de México – EIMTCMAVM, Síntesis de Resultados*, Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Ambiental Metropolitana del Valle de México, México, 48 pp.

Ogden K. W., (1992), *Urban Goods Movement. A guide to policy and planning*. Ashgate Publishing Company, Vermont. USA., 397 pp.

Olivera, A., (2004), *Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos*. Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay. 59 pp.

Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico – OCDE, (2003), *Delivering the Goods. 21st Century Challenges to urban goods transport*. OECD Publications, Francia. 152 pp.

Pang, K.-W., (2011), *An adaptative parallel route construction heuristic for the vehicle routing problem with time windows constraints*, Expert Systems with Applications, Volumen 38, pp. 11939-11946.

Procuraduría Federal del Consumidor – PROFECO, (2011). *Estudio de Calidad: Cerveza*, Revista del Consumidor, Noviembre, pp. 36 – 51.

Ready to Rent – READYTORENT, (2015). *Camiones extra para tu negocio, Cotizador*. [En línea].México, disponible en [http:// readytorent.force.com/Cotizador](http://readytorent.force.com/Cotizador). Fecha de consulta: 12-03-2015

Rojas López, M.D. et al., (2011), *Logística Integral, una propuesta práctica*. Primera edición. Ediciones de la U., Bogotá, Colombia. 227 pp.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes – SCT, (2008), NOM-012-SCT-2-2008, *Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal*. SCT, México.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes – SCT, (2012), “1. Autotransporte de carga” *Estadística básica del autotransporte federal 2012*. [En línea].México, disponible en <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/autotransporte-federal/estadistica-basica-del-autotransporte-federal/2012/>. Fecha de consulta: 21-10-2013

Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda – SEDUVI, (1994), *Plano de divulgación del PPDU-Col*. Del Carmen 1994. [En línea].México, disponible en

http://www.seduvi.df.gob.mx/portal/docs/programas/PPDU/PPDU_Planos_Divulgacion/PPDU_CY/PPDU_Plano_Divul_CY_Del%20Carmen.pdf. Fecha de consulta: 19-10-2013

Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda – SEDUVI, (2010), *Plano de divulgación del PDDU-Coyoacán 2010*. [En línea]. México, disponible en http://www.seduvi.df.gob.mx/portal/docs/programas/programasdelegacionales/Coyoacan_2010.pdf. Fecha de consulta: 18-10-2013

Secretaría del Medio Ambiente – SEDEMA (2013a), *Inventario de emisiones 2012*, [En línea] México, disponible en http://www.sma.df.gob.mx/inventario_emisiones/index.php?op=pub. Fecha de consulta: 21-11-2013

Secretaría del Medio Ambiente – SEDEMA (2013b), *Hoy No Circula*, [En línea] México, disponible en <http://www.sedema.df.gob.mx/sedema/index.php/verificacion-hoy-no-circula/hoy-no-circula/en-que-consiste-el-programa-hoy-no-circula>. Fecha de consulta: 23-11-2013

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales – SEMARNAT, (2010), Programa GEI México; Factor de emisión eléctrico 2013. [En línea]. México, disponible en <http://www.geimexico.org/factor.html>. Fecha de consulta: 25-02-2015

Secretaría de Transporte y Vialidad – SETRAVI (2013a), *Estadísticas*, [En línea] México, disponible en <http://www.setravi.df.gob.mx/wb/stv/estadisticas>. Fecha de consulta: 18-11-2013

Secretaría de Transporte y Vialidad – SETRAVI (2013b), *Glosario de términos de transporte*, [En línea] México, disponible en http://www.setravi.df.gob.mx/wb/stv/glosario_de_terminos_de_transporte. Fecha de consulta: 18-11-2013

Secretaría del Trabajo y Previsión Social – STPS (2015), *Comisión Nacional de los Salarios Mínimos, Salarios Mínimos*, [En línea] México, disponible en http://www.conasami.gob.mx/pdf/tabla_salarios_minimos/2015/01_01_2015.pdf. Fecha de consulta: 10-03-2015

Secretaría de Turismo del Distrito Federal – SECTURDF. (2013), *Barrios Mágicos Turísticos de la Ciudad de México, Coyoacán*, [En línea] México, disponible en <http://www.mexicocity.gob.mx/barriosmagicos/guiasBMT/Coyoacan.pdf>. Fecha de consulta: 10-10-2013

Stalk, G., (2009), *The Threat of Global Gridlock*. Harvard Business Review, July – August, pp. 126 - 129

Taniguchi, E. et al., (2001), *City Logistics. Network modeling and intelligent transport systems*. Primera edición. Elsevier Science Ltd., Oxford. U.K. 252 pp.

The Barth-Haas Group, (2012). *Beer Production. Market Leaders and their Challengers in the Top 40 Countries in 2012*. Alemania, 16 pp.