



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM VALLE DE MÉXICO

**Optimización de rutas de distribución de una
empresa productora de jugos**

TESIS

Que para obtener el Título de

INGENIERO INDUSTRIAL

Presenta

C. Jorge Alejandro Reza Vargas

Asesor: Dra. En C. Ed. Gabriela Gaviño Ortiz

Atizapán de Zaragoza, Edo. de Méx. Agosto del 2016



Esta hoja se dejó en blanco de manera intencional

Contenido

Introducción.....	5
Capítulo 1. Diseño de la investigación	9
1.1. Antecedentes de la empresa en estudio.....	9
1.2. Planteamiento del problema.....	11
1.3. Delimitación del proyecto.	15
1.4. Objetivos.....	16
1.4.1. Objetivo general.	16
1.4.2. Objetivos específicos.....	16
1.5. Hipótesis.	16
1.6. Metodología.	17
Capítulo 2. Estado del arte de los sistemas de información geográfica y sistemas de distribución.....	21
2.1.-Breve historia del sistema de información geográfica (SIG).....	21
2.2. La necesidad y tratamiento de la información geográfica.	26
2.3. La información espacial en México.	30
2.4. El equipo GPS como herramienta de levantamiento de información espacial.	35
2.5. Aplicaciones de los sistemas de información geográfica y del análisis espacial.....	37
2.6. Casos de éxito en empresas que han aplicado proyectos de localización inteligente.....	41
2.7. Distribución y la distribución comercial.	42
2.7.1. Funciones de la distribución.....	44
2.7.2. Canales de distribución.....	44
2.7.3. Tipos de canales de distribución.....	45
2.7.4. Funciones de los canales de distribución.....	46
2.7.5. Funciones del transporte en los canales de distribución.....	47
2.7.6. Transporte terrestre.	47
2.8. Ingeniería de rutas.	48
2.9. Optimización de rutas.	50
2.10. Problemas de rutas de vehículos (VRP).	52
Capítulo 3. Método de optimización de rutas del centro de distribución denominado La Villa.....	55
3.1. Descripción del equipo y los sistemas de cómputo utilizados.	55

3.2. Georeferenciación de clientes mediante el uso de un dispositivo GPS.	58
3.3. Visualización de la información en el sistema de información geográfica.	65
3.4. Determinación del centroide de cada ruta y generación de matriz de distancias.	66
3.5. Descripción del algoritmo de optimización.....	70
3.6. Modelo de programación lineal para la formación de rutas.	73
3.6. Elaboración de territorios por día de Preventa-Entrega.	77
Capítulo 4. Resultados y conclusiones.....	79
4.1. Resultados.	79
4.2. Conclusiones.....	89
BIBLIOGRAFÍA.....	92

Introducción

Para que una organización pueda lograr sus objetivos y logre permanecer en los mercados, no sólo le basta con tener productos de calidad y a precios competitivos, sino que debe tener la capacidad de llevarlos al consumidor en la cantidad, el tiempo y el costo requerido (Fondo Social Europeo Unión Europea, 2009). Para lograr este objetivo las organizaciones deben optimizar sus rutas de transporte y distribución ya que es un elemento clave; sin embargo, no todas las empresas abordan este problema de manera adecuada y sistemática, debido al costo elevado de las plataformas tecnológicas, por consiguiente solo pueden tener acceso a estas tecnologías las empresas grandes.

Con respecto a los costos de distribución, debemos de tener en cuenta el aumento del precio de los combustibles, que en los últimos 6 años se han dado en nuestro País, el cual es de aproximadamente de un 45%, (Desde 2008 el precio de la gasolina ha aumentado 45%, salario mínimo solo 23%, 2015), además esta inversión puede representar cerca del 50% del costo logístico total, por lo que se hace esencial la disminución de estos en los procesos logísticos relacionados con el transporte.

Por lo que de acuerdo a los puntos anteriores, es indispensable para las empresas optimizar sus procesos de distribución, entendiéndose como optimización todas aquellas acciones que contribuyan a la mejora de la función de distribución, sea en términos de nivel de servicio, mejora de la calidad y/o reducción de costos (Fondo Social Europeo Unión Europea, 2009), para lograr esto se requiere de herramientas especializadas, tales como: tecnologías que permitan el seguimiento en tiempo real, utilización de modelos de optimización, software especializados, entre otras. Una de las decisiones operativas que debe tomarse frecuentemente en la gestión del transporte, es el diseño de las rutas con las cuales se atiende la demanda de los clientes finales, uno de los factores claves de éxito en la implementación de herramientas computacionales para lograr esto

es el conocimiento de las particularidades de la situación que se requiere abordar o la situación a mejorar.

Los criterios que las compañías utilizan al momento de diseñar sus rutas son varios, pero los más significativos son: minimizar el costo, cumplir con las promesas de servicio, entregando los pedidos a tiempo y maximizar la utilización de la flota. Sin embargo, aunque es una decisión compleja e importante, son pocas las empresas que utilizan herramientas de software avanzadas, prefieren utilizar la zonificación de la ciudad en territorios geográficos definidos y la experiencia de los despachadores y conductores al momento de planear sus rutas (si es que efectivamente las planean), aunque saben que el método que utilizan actualmente es útil, ya que les permite incorporar la experiencia de las personas involucradas y es en general fácil y flexible, también reconocen que estos métodos les generan dependencia en las decisiones no sistemáticas ni sistematizadas de las personas, que no les brindan un suficiente control de la operación ni la información que quisieran¹. Además, algunas veces les resulta difícil cumplir con algunas restricciones complejas, como las ventanas de tiempo de los clientes y la duración total de la jornada de trabajo. El problema de la planeación de rutas es uno de los problemas más comunes en la optimización de operaciones logísticas y por ende uno de los más estudiados. El planteamiento inicial del problema del diseño de rutas consiste en buscar la solución óptima con diversos parámetros proporcionados por el usuario, como el número de vehículos, la capacidad de los vehículos, lugares a visitar (clientes) y su demanda, utilizando procesos definidos y herramientas tecnológicas adecuadas.

La presente tesis tiene como objetivo mostrar el proceso para realizar la optimización de las rutas de distribución de una empresa fabricante de jugos, mediante la implementación de un modelo de programación lineal, apoyado de herramientas tecnológicas adecuadas, como son los sistemas de información geográfica y los modelos de optimización, esta empresa desde hace años tiene como objetivo principal expandir su mercado y tener sus productos en casi todos

¹ De acuerdo a reuniones que se ha tenido con diferentes empresas en las cuales sea monitoreado el uso de herramientas geográficas.

los puntos de venta del canal de detalle o tradicional (tiendas de abarrotes y misceláneas). Actualmente la empresa realiza el diseño de las rutas de sus centros de distribución y sus reestructuraciones con apoyo de mapas impresos, marcadores para delimitar las zonas y en algunas ocasiones alfileres para identificar donde se encuentran los clientes, métodos que pueden ser mejorados con nuevas herramientas tecnológicas; ellos argumentan que esta acción no siempre les ha generado buenos resultados ya que en ocasiones los clientes no se encuentran en donde ellos los colocaron en el mapa o en su defecto las rutas no tienen un número de venta y cantidad de clientes como lo habían calculado, además esta práctica les toma varios meses ajustar las rutas para dar por terminada la reestructuración de sus rutas; el sistema que utilizan para ubicar el cliente es mediante el alta de clientes de manera manual, ellos anotan el nombre del cliente, tipo de establecimiento y la dirección (calle, número, colonia y municipio); las búsquedas que ellos realizan para marcar un cliente en su mapa de papel va de lo general a lo específico, es decir primero tienen que buscar en el mapa el municipio o delegación, después la colonia y lo que a ellos les toma más tiempo es encontrar la calle, ya que en diversas ocasiones el nombre de la calle que tienen registrada no coincide con el registro de los mapas que utilizan. El método presentado consiste en la ubicación de clientes mediante dispositivos móviles, la utilización de sistemas de información geográfica para la manipulación de la información y el uso de herramientas de optimización espacial para la zonificación de las rutas y la asignación de sus secuencias de visita. El utilizar estos métodos nos permiten reducir los tiempos de diseño de rutas de meses en días, incrementar la participación de mercado en un 10 % y disminuir el costo de distribución en un 10 %².

² Indicadores que la empresa en estudio requiere para poder cumplir con sus niveles de rentabilidad.

Esta hoja se dejó en blanco de manera intencional

Capítulo 1. Diseño de la investigación

1.1. Antecedentes de la empresa en estudio.

En México el uso de la información geográfica en la toma de decisiones por ejecutivos es incipiente, se implementaron reuniones por parte de una empresa dedicada a la consultoría en logística con la empresa fabricante de jugos en estudio, con el fin de compartir metodologías y prácticas que les ayuden a obtener y procesar de una mejor manera la información geográfica, para su correcta toma de decisiones. Como resultado de esta podemos decir que en la empresa en estudio tienen la noción de la importancia del uso de la información geográfica pero aún no la utilizan de manera constante en el diseño de sus estrategias, en la aplicación en sus operaciones ni en el diseño de sus sistemas de distribución.

En una investigación de Philip Kotler, el padre del Marketing moderno, indica que los principales elementos de los costos de la distribución son el transporte (37%), el control de existencias (22%), el almacenamiento (21%) y otros como la recepción de órdenes, el servicio al cliente, la distribución y la administración (20%). El mismo autor cree, al igual que otros expertos, que pueden conseguirse ahorros sustanciales en el área de la distribución.

Por tal motivo muchas empresas sostienen que el objetivo último de la distribución es obtener las mercancías necesarias, llevarlas a los lugares oportunos a su debido tiempo y al costo más bajo posible. Sin embargo, y tal como afirma Kotler, no existe ningún sistema de distribución que pueda simultáneamente maximizar el servicio al cliente y minimizar los costos de distribución, puesto que lo primero supone un elevado costo de existencias, un transporte rápido y múltiples almacenes, factores que incrementan los costos; se trata de buscar un equilibrio que contemporee los intereses contrapuestos (Hernández Jorge M., 2015).

En este trabajo se dan a conocer los beneficios del uso de los sistemas de información geográfica (SIG) y herramientas de optimización espacial para el diseño de las redes de distribución, que no es muy común en las empresas en

México. Se muestra el método para el diseño de rutas de distribución de un centro de distribución de una empresa fabricante de jugos, utilizando herramientas modernas como son el uso de los sistemas de información geográfica y herramientas de optimización espacial.

La semblanza de la empresa³ en donde se desarrolló e implemento el diseño con las nuevas herramientas propuesta la podemos resumir a través de los siguientes puntos:

El 27 de abril de 1961 se funda la empresa, con únicamente 20 empleados, comenzaron a extraer y elaborar néctares y jugos con la mejor producción frutal del país.

Un año después la producción tuvo un muy buen crecimiento por lo que las instalaciones de la empresa ubicadas en México, en la colonia Aragón, cambiaron a la colonia Xalostoc, con la tecnología más novedosa del momento.

En 1982 se comenzó a exportar a Estados Unidos néctar en lata. Para ese año, ya se contaba con centros de distribución en los estados más importantes de la República Mexicana.

En 1987, la exportación a Estados Unidos se hizo cada vez más constante y creciente, por lo que Grupo se posicionó en el mercado mexicano con el eslogan: Excelencia en calidad mundial.

Actualmente la empresa continúa siendo una de las empresas 100% mexicanas más importantes dentro del país, con más de 13 marcas que brindan salud y bienestar a sus consumidores en más de 30 países.

Cuenta con 8 plantas en México y una en Centroamérica, 37 centros de distribución y alrededor de 4,000 colaboradores que día a día mantienen el liderazgo que desde hace varios años la empresa ha logrado.

Hoy, a más de 50 años del nacimiento de esta empresa, están orgullosos de ser una empresa cien por ciento mexicana siempre apasionada por ir más allá en la

³ Semblanza proporcionada por la empresa en estudio.

innovación, en el cumplimiento de las normas que enmarcan su actividad, enfocados en mantener los más altos estándares de calidad en sus productos y por llevar salud a los hogares de este México que tanto quieren.

1.2. Planteamiento del problema.

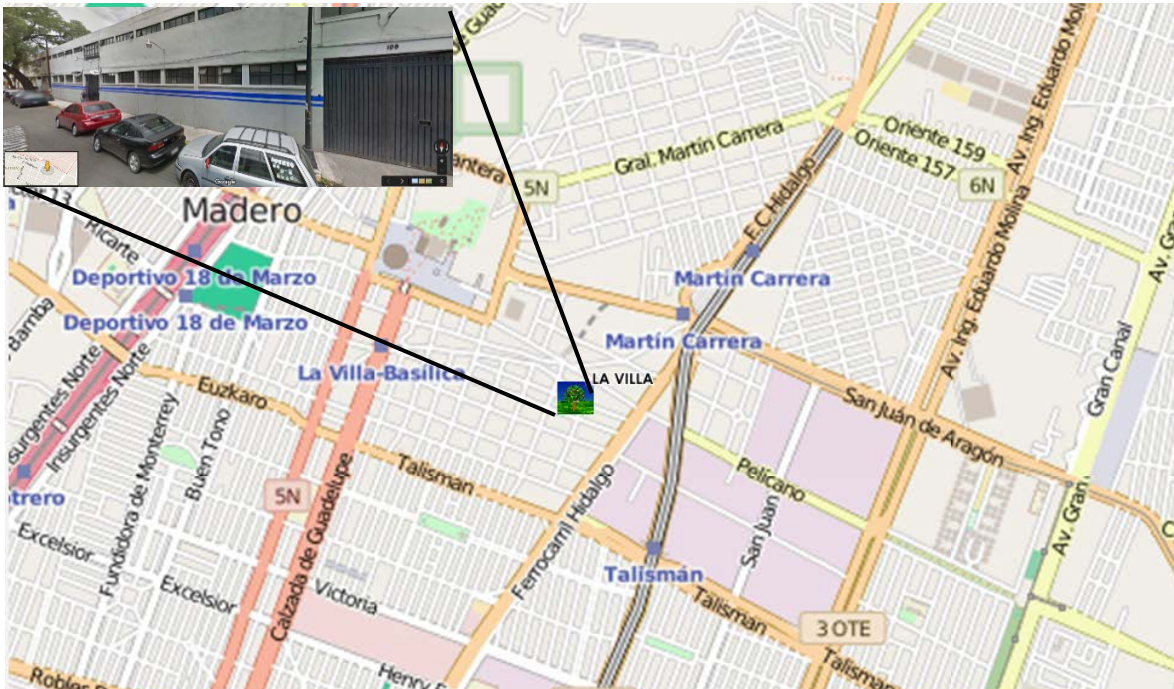
La empresa cuenta con 9 centros de distribución en el Distrito Federal y su Área Metropolitana operando con 236 rutas, las cuales cubren esta zona, cada una de las rutas debe recorrer grandes distancias para dar el servicio a los establecimientos del canal de detalle, incluso se tiene el comprobado que varias rutas entran en la misma zona (están traslapadas). Esta situación es preocupante para la empresa, ya que sus costos en la distribución son elevados y su margen de utilidad es más bajo de lo que la empresa había calculado.

Se tiene una estimación del tiempo invertido en las ventas del 60 % y aproximadamente un 40% está dedicado solamente en los traslados⁴, lo que genera que visiten menos clientes al día con un elevado costo de distribución, esta situación también se ve reflejada en la efectividad de la venta (que se le venda a todos los clientes visitados), desgaste físico del vendedor, desgaste de las unidades de transporte y mayor consumo de combustible, de aquí la necesidad de la optimización de las rutas de distribución. Incluso la empresa sabe que la distribución de su producto no es el adecuado porque desconocen si su producto está colocado en las zonas para las cuales se diseñaron y si está llegando al cliente objetivo específico⁵.

Dentro de sus 9 centros de distribución el denominado de La Villa, es uno de los centros con mayores problemas en cuanto a los altos costos de distribución, se encuentra rodeado por 4 centros de distribución y no se tienen establecido el límite que hay entre estos, lo que está provocando que las rutas que se encuentran en los límites entren en conflicto por un pequeño grupo de clientes que se encuentra en una zona muy alejada de su territorio definido. En la *figura 1* se muestra el mapa de la ubicación del centro de distribución denominado de La Villa.

⁴ Valores estimados de acuerdo a estudios de tiempos y movimientos realizados por la empresa.

⁵ Comentarios que se han expresado en algunas reuniones de ventas.



- Dirección: Cuitláhuac 100 - 108, Villa Aragón, Ciudad de México, D.F.

Figura 1. Mapa de la ubicación del centro de distribución denominado La Villa.⁶

Actualmente las rutas operan bajo la siguiente modalidad de distribución: un vendedor tiene la responsabilidad de salir a pre vender y es el mismo quien entrega sus pedidos al día siguiente, en la siguiente tabla (*Tabla 1*) se muestran las dos modalidades con las que operan actualmente.

	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sabado
Modalidad 1	Preventa	Entrega	Preventa	Entrega	Preventa	Entrega
Modalidad 2	Entrega	Preventa	Entrega	Preventa	Entrega	Preventa

Tabla 1. Modalidad de venta⁷

Para los días de pre venta salen en motocicleta y se tiene un registro que en promedio solo pueden pre vender 45 pedidos al día y su jornada de trabajo es de 10 a 12 horas. En el día de entrega salen con camión y la entrega de pedidos en rutas cercanas al centro de distribución es del 90% al 100% de acuerdo a la preventa realizada el día anterior, las rutas más alejadas en promedio entregan del

⁶ Elaboración propia.

⁷ Elaboración propia.

80% al 90%. Esta situación durante años ha sido normal para los vendedores, pero es alarmante ya que la modalidad de pre venta es para asegurar que todo lo que se pre vendió se entregue y no se tengan pérdidas o producto de vuelta al almacén.

El Jefe de Ventas, Supervisores y el Analista de Rutas, que son las principales puestos que intervienen en la operación, están seguros de que no se están atendiendo todas las tiendas del territorio designado para su centro de distribución, por lo tanto no saben con certeza que porcentaje del territorio lo tienen cubierto y que áreas son de oportunidad para distribuir sus productos, el objetivo es que sus productos este posicionados o tengan presencia en todos los puntos de interés, que en este caso son las tiendas del canal tradicional, como son las misceláneas y abarrotes.

Finalmente, el área de ventas y la Dirección General de la empresa, le solicitaron al centro de distribución La Villa, la apertura de 6 nuevas rutas dentro de su territorio, esta noticia fue alarmante para todos, principalmente porque una reestructura la elaboraban en un promedio de 6 meses y no tenían las herramientas para realizar la apertura de estas rutas y sobre todo para garantizar que el centro de distribución tuviera la capacidad para la apertura de nuevos territorios. En la *figura 2* y en la *figura 3*, se muestra un estudio sobre la cobertura de servicio actual del centro de distribución de La Villa, en el cual se encontró que del mercado objetivo de la empresa únicamente se tiene presencia en el 60 % de los clientes objetivo, la comparación se hizo de los clientes actuales con los registrados en el producto del INEGI denominado DENUE (Denué, 2016).

De acuerdo a los puntos anteriores pudimos plantear la siguiente problemática:

Se requiere realizar una optimización de las rutas del centro de distribución denominado La Villa, que le permita reducir sus tiempos de traslado en un 10 %, incremente los tiempos de visita en por lo menos un 10 % y permita que las rutas lleguen al menos al 70 % de sus clientes objetivo específicos (Clientes que se encuentran dentro de sus territorios, es decir clientes con y sin servicio), utilizando como herramientas: los sistemas de información geográfica y modelos de

optimización espacial, que les permita realizar el proceso en un lapso corto de tiempo (máximo de seis meses) con resultados garantizados.

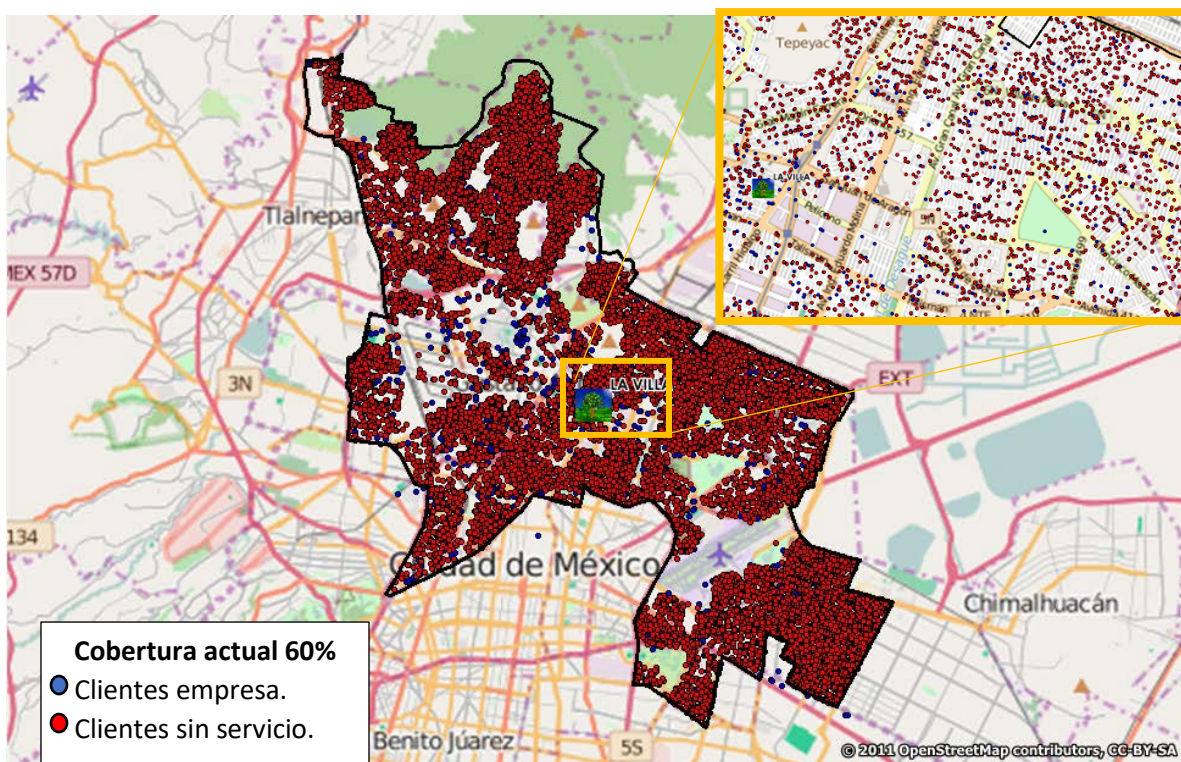


Figura 2. Cobertura actual en el canal de detalle del Centro de distribución La Villa.⁸



Figura 3. Gráfica y tabla de la cobertura de servicio de la empresa vs DENUÉ.⁹

⁸ Elaboración propia.

⁹ Elaboración propia.

1.3. Delimitación del proyecto.

El proyecto tuvo una duración de 6 meses, es el tiempo estimado para la recopilación de la información y para la implementación de la reestructuración, refiriéndonos a esta última como el proceso de optimización de las rutas. La zona en donde se realizará la optimización de las rutas fue la Delegación Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Iztacalco, Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza y Municipios del Estado de México, como Tlalnepantla y Nezahualcóyotl, en estas zonas es donde actualmente se encuentran establecidas las rutas del centro de distribución La Villa.

El proyecto se implementó en el centro de distribución La Villa como prueba piloto, en caso de obtener los resultados esperados se realizará la implementación del proyecto de reestructuración en los 9 centros de distribución del área metropolitana. En la *figura 4* podemos observar cual es el territorio que tiene establecido para el centro de distribución en estudio.

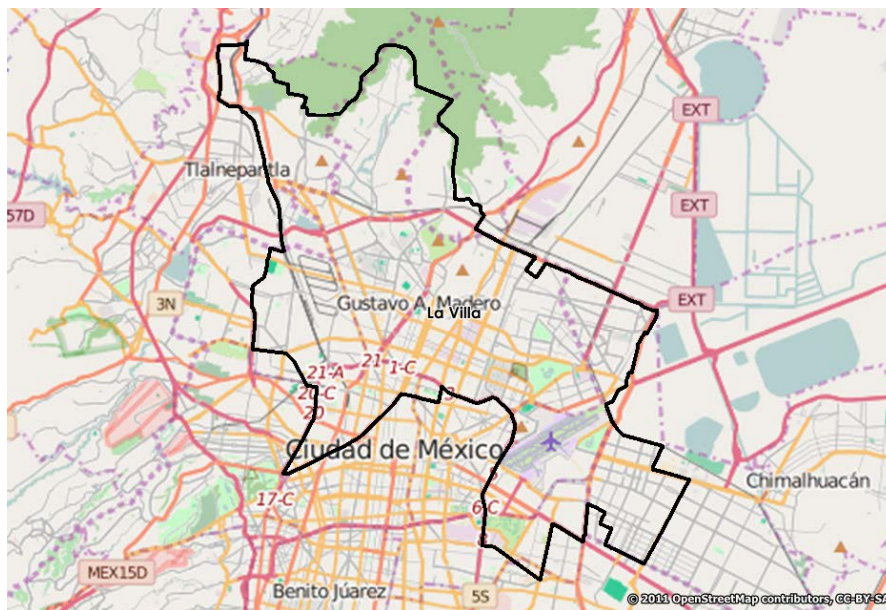


Figura 4. Mapa del territorio de cobertura por el centro de distribución de La Villa.¹⁰

¹⁰ Elaboración propia.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

Implementar una metodología para la optimización de rutas de distribución en una empresa productora de jugos, utilizando herramientas de vanguardia como son los sistemas de información geográfica y modelos de optimización espacial.

1.4.2. Objetivos específicos.

En base al objetivo general se definieron los siguientes objetivos específicos:

- a. Analizar la importancia de los sistemas de información geográfica y las herramientas de optimización espacial en el diseño de redes de distribución.
- b. Mostrar cómo se lleva a cabo la georeferenciación de los clientes a través de aplicaciones móviles que utilizan un dispositivo de posicionamiento global (GPS).
- c. Implementar un proceso de optimización espacial a través de un modelo de programación lineal.
- d. Mostrar las ventajas de utilizar los sistemas de información geográfica y modelos de optimización espacial para el diseño de rutas de distribución.
- e. Obtener los resultados propuestos en el objetivo general para que la empresa productora de jugos obtenga los ahorros esperados mediante la utilización de esta metodología.

1.5. Hipótesis.

Por medio de métodos basados en herramientas de un sistema de información geográfica y de optimización espacial, aplicadas en el centro de distribución de La Villa, le permitirá a la empresa productora de jugos obtener:

- a. Rutas compactas, cada una con su territorio definido.
- b. Reducir sus costos de distribución en por lo menos un 10 %.

- c. Incrementar su posicionamiento en el mercado del 60% al 70%.
- d. Incrementar su nivel de venta en por lo menos un 10 %.
- e. Realizar el proceso de reestructuración en menos de la mitad del tiempo en que lo llevan a cabo actualmente.

1.6. Metodología.

La metodología que utilizamos se basa en procesos que se utilizan hoy en día para la optimización de rutas, cabe señalar que estos cada vez se van utilizando con mayor frecuencia, ya que las empresas han descubierto que se pueden ahorrar y generar más ingresos mediante la utilización de los sistemas de información geográfica. Para la realización de este proyecto se utilizaron los sistemas de información geográfica y modelos de optimización espacial.

La metodología que se utilizó fue la siguiente:

- a. Investigación en diferentes fuentes bibliográficas el estado de arte de los sistemas de información geográfica, la optimización espacial y su relación con el diseño de las rutas de distribución.
- b. Investigar los métodos y variables que se deben de considerar en el diseño de un modelo de optimización espacial, tomando como referencia un modelo de programación lineal.
- c. Mediante dispositivos móviles con dispositivo GPS, los vendedores, previa capacitación, capturaron las coordenadas de los clientes de las 27 rutas del centro de distribución y con la ayuda del software Excel se trasladaron a un sistema de información geográfica comercial llamado MapInfo (Pitney Bowes, 2016), en donde mediante métodos, denominados de análisis espacial, se analizó la situación actual de las rutas de distribución.
- d. Se tomó la información de venta por cliente de enero a diciembre del 2014, ésta se obtuvo del sistema de back office de la empresa (servidores de

información), el cual se alimenta de la información que se captura en los dispositivos móviles denominados hand held¹¹.

- e. A la base de datos de todos los clientes con coordenadas (georeferenciados) se les adicionó la venta por cliente, pudiendo implementar con éstos algunos procesos de análisis espacial los cuales involucran como variable principal la venta.
- f. Con la base de datos completa se exportó a QGIS (QGIS, 2016) (sistema de información geográfica de código abierto) para obtener los recorridos que realizan cada una de las rutas en los territorios que atienden actualmente y tener un estimado del costo de la distribución actual.
- g. Esta base de datos se exportó al software TrasnCAD (Caliper, 2016) en el cual se obtuvo la distancia de cada uno de los clientes al centro en donde se formaron todas las rutas, esto con el módulo de logística que trae integrado.
- h. Se elaboró un modelo de programación lineal en el cual se asigna un cliente a cada ruta de tal manera que la distancia recorrida en todo el sistema sea mínima, se asigne un solo cliente a una sola ruta, los niveles de venta sean de un más menos el 10% de su venta actual, con esto aseguramos que no haya problemas de comisiones. En caso de que alguna ruta presente alguna afectación en la venta se le darán clientes prospectos para recuperar la venta.
- i. Toda la información recopilada previamente se introdujo en el modelo y se solucionó con el apoyo del software Excel y Solver (SOLVER, 2016) de ésta manera se obtuvo la nueva asignación de cada cliente a cada ruta.
- j. Con la información previamente obtenida se formaron las nuevas rutas de distribución con la característica de ser compactas, con un territorio definido, libres de traslapos, secuencias lógicas y con bajos tiempos de traslado y altos en venta.

¹¹ Dispositivo electrónico configurado con sistema operativo Windows phone y con una aplicación de venta que contiene la información de los productos que tienen en venta.

- k. Para recuperar y aumentar la venta en algunas rutas se le otorgó a cada vendedor un listado y un mapa de clientes que no tienen servicio, se estimó que cada cliente en promedio tendrá una venta de \$80, (es la venta mínima registrada en su registro de venta) y del número total de clientes dentro de cada territorio de las rutas solo consideramos el 20%. Por lo que les garantizamos a cada vendedor que su venta y sobre todo su comisión no se verá afectada.
- l. Una vez que se obtuvo la nueva asignación se implementó en la práctica y se midieron los diferentes parámetros, como tiempos de recorrido y costos de distribución entre otras cosas, que nos indicaron el éxito del proyecto.

Esta hoja se dejó en blanco de manera intencional

Capítulo 2. Estado del arte de los sistemas de información geográfica y sistemas de distribución.

2.1.-Breve historia del sistema de información geográfica (SIG).

Para documentar esta parte del estado de arte¹² de los sistemas de información geográfica se tomó la mayor parte del material presentada en el libro “Fundamentos de sistemas de información geografía por Comas D. (Comas D. & Ruiz E., 1993).

Un sistema de información geográfica (SIG) significa cosas diferentes para diferentes gentes. Algunas personas usan estos, simplemente para documentar la realidad geográfica. Pero la esencia real de un SIG es la parte analítica, en donde actualmente se explora en un nivel científico las relaciones espaciales, comportamientos y procesos de fenómenos geográficos, culturales, biológicos y físicos. Esta es un área que nos promete mucho para poder conocer como nuestro mundo funciona, evoluciona, se conecta y cambia.

Análisis espacial no es un concepto nuevo, como lo muestran los trabajos de Booth en Londres en los años 1890. La gente siempre ha querido documentar y analizar comportamientos y su interpretación para propósitos de toma de decisiones. Y ahora muchos conceptos de decisiones en base a información espacial están siendo expandidos esto va más allá de la visualización de un simple mapa.

Las soluciones para muchos problemas frecuentemente requieren acceso a varios tipos de información que sólo pueden ser relacionadas por geografía o distribución espacial. Sólo la tecnología SIG permite almacenar y manipular información usando geografía, analizar patrones, relaciones, y tendencias en la información, todo con el interés de contribuir a la toma de mejores decisiones.

¹² El estado del arte es una modalidad de investigación que nos permite apoyarnos de otras investigaciones las cuales forman parte de la base del proyecto y es fundamental para explicar los aportes del presente proyecto.

Análisis espacial es realmente un tipo de tecnología de explotación de información. Con eso podemos documentar diferentes capas de información diversa y usar herramientas de análisis espacial para explotar la información para la toma de decisiones basada en inteligencia de negocios. Análisis espacial es la base para la explotación de la información, la cual su uso se hace cada vez mayor para el soporte de los sistemas de toma de decisiones, en una gran cantidad de industrias y gobiernos para contestar preguntas tales como: ¿dónde debo localizar?, ¿qué zonas deben ser nuestro objetivo?, ¿qué áreas son biológicamente productivas?, ¿qué áreas son de alto riesgo para la naturaleza?, estos son los tipos de respuestas que podremos contestar.

Como ya hemos visto anteriormente la mayor parte de las actividades que lleva a cabo el hombre tienen una clara vertiente geográfica. Cada vez con mayor frecuencia se tiende a estudiar detalladamente esa vertiente espacial de los fenómenos que ocurren alrededor y la forma en que las personas nos vemos involucrados en ellos. Por este motivo la componente territorial toma una gran relevancia y esa presencia constante de información geográfica requiere herramientas como los SIG para su adecuado tratamiento.

De este modo el uso y por tanto los métodos y las técnicas de estos sistemas, como herramientas idóneas para tratar esa información, se extiende en multitud de nuevas posibilidades de utilización de dichas herramientas aplicadas al tratamiento de la información geográfica.

Se han establecido una serie de agrupaciones de aplicaciones en base a la similitud de temas que tratan. Comprendemos y por tanto tomamos en cuenta, que este y cualquier otro intento de clasificación resulta arbitrario e incluso ambiguo.

Teniendo en cuenta estos hechos, la clasificación que recoge las aplicaciones más frecuentes de los SIG y de análisis espacial se ha estructurado en cuatro grandes grupos detallados en la lista siguiente (González, J.S. And Cáceres, G., 2013):

Aplicaciones bióticas:

- Agricultura y usos de suelos.
- Gestión de los recursos naturales.

Aplicaciones en administración y gestión:

- Catastro.
- Planificación y gestión de servicios públicos.
- Aplicaciones de carácter urbano.
- Aplicaciones cartográficas.
- Defensa y seguridad.
- Soporte para la toma de decisiones en los negocios.

Aplicaciones socioeconómicas.

- Censos y estadísticas de población.
- Análisis de mercados.

Aplicaciones de carácter global:

- CORINE.
- Bases de datos mundiales.

Un sistema de información geográfica (SIG) es una integración de un todo, con aplicaciones de diferentes campos desde geografía a ciencias de la tierra a arquitectura, planeación urbana y ecología.

El término de sistemas de información geográfica fue primeramente publicado por Roger Tomlinson en 1963 y fue también el primer creador de un SIG – el inventario de recursos naturales de Canadá fue dirigido por él- para el Gobierno de Canadá.

La utilización del SIG en actividades comerciales se empezó a utilizar entre los años 70 y 80 después de que los costos de procesamiento principalmente el hardware y el software de SIG fueran accesibles en el aspecto económico.

Algunas revisiones en este campo (por ejemplo, Borrough And Mcdonnell 1998, Longley en 2001) establecen que las principales raíces que han hecho el desarrollo de los SIG son cuatro: la primera las innovaciones de los gráficos por

computadora en los inicios de los años 40, esto trajo el desarrollo de la cartografía por computadora a mediados de los años 60 y la creación de mapas rudimentarios usando plotters de líneas e impresoras. El segundo fue el desarrollo de tecnologías en el manejo de bases de datos y sistemas de información, la representación de unidades espaciales requirieron el desarrollo de algoritmos para investigar las estructuras de datos espaciales y resolver problemas tales como “el punto en polígono” y problemas de ese tipo que no se desarrollaron hasta los años 60 y 70. Una tercera fuerza fue generada por el desarrollo del monitoreo remoto del ambiente, inicialmente sirvió a través de satélites para cuestiones militares en los años 50 y posteriormente para cuestiones civiles en los años 60. La cuarta motivación emergió de la posible representación de diferentes tipos de información a través de capas como terrenos y uso de suelos. Un conjunto de técnicas ha venido apoyar este desarrollo, particularmente para problemas de planeación de territorio y mejor ilustrado en el trabajo de Mc Harg (Mc Harg ,1969) fue el primero en automatizar usando ideas de mapas algebraicos y rudimentarias impresoras de línea.

Paralelamente a esos desarrollos, el análisis espacial emergió de los avanzados métodos cuantitativos en geografía, geología y ciencias de la tierra también como de ciencias regionales y macroeconómicas. La estadística espacial y los análisis de localización dominaron la geografía en los años 60 y los protagonistas de la revolución cuantitativa de la geografía fueron los responsables para el desarrollo y aplicación de técnicas que juntas dieron origen a una nueva ciencia de geografía (Johnston, 1999). Análisis Espacial (Berry And Marble, 1968) ilustra el rápido crecimiento de este campo y simboliza la revolución cuantitativa en geografía. Nos marca las tendencias para las nuevas generaciones.

Los SIG se desarrollaron en paralelo al desarrollo de la estadística espacial y análisis de localización durante los años 70 y 80, con un número de investigadores moviéndose entre aplicaciones cuantitativas y de computación. En este camino algunas de estas técnicas se han desarrollado de una manera más lenta, pero incorporando la tecnología del SIG. En la mitad de los años 90 el uso del SIG se

ha adoptado ampliamente al análisis espacial, mientras la modelación y la simulación estuvieron siendo desarrolladas de manera paralela al SIG.

El desarrollo del software ha sido de la siguiente manera (Instituto de Geografía de la UNAM, 2006):

Primero, el uso de los SIG se ha incrementado como se ha hecho más accesible el hardware.

Segundo, a mediados de los 90 la mayoría de los énfasis del SIG fue que se pudieran hacer conversiones de información entre diferentes estructuras de datos rutinarios y seguros y así diversificar el rango de datos base que pudieran ser combinados y usados con el SIG.

Tercero a mediados de los 80 la misión comercial del SIG para satisfacer el 90 por ciento de las aplicaciones, necesitó el 90 por ciento del tiempo, esas aplicaciones fueron las más demandadas. Esto ha llevado a la adaptación de métodos y modelos de análisis espacial al SIG y un rango de nuevas funciones se ha incorporado al software de escritorio en particular.

Cuarto, los módulos han comenzado a dominar los procesos para sumar nuevas funciones.

Quinto, el desarrollo de representaciones en tercera dimensión ha originado una rama de investigación.

Sexto, la miniaturización de componentes de cómputo aunado al desarrollo de redes de computación está permitiendo que se desarrollen algunas aplicaciones en tiempo real. De hecho, el movimiento de instalaciones de hardware fijas a redes y en el otro lado hacia pequeños equipos móviles representa el nuevo desarrollo de los SIG. Este es parte de la masiva descentralización de computadoras que está sucediendo, donde la información y el software y las aplicaciones están siendo distribuidas a través de redes y el acceso está siendo incrementalmente afectado por medio de dispositivos de redes. Esa es la tendencia de las aplicaciones del SIG.

La figura 5 nos muestra un esquema sobre la evolución de los sistemas de información geográfica.

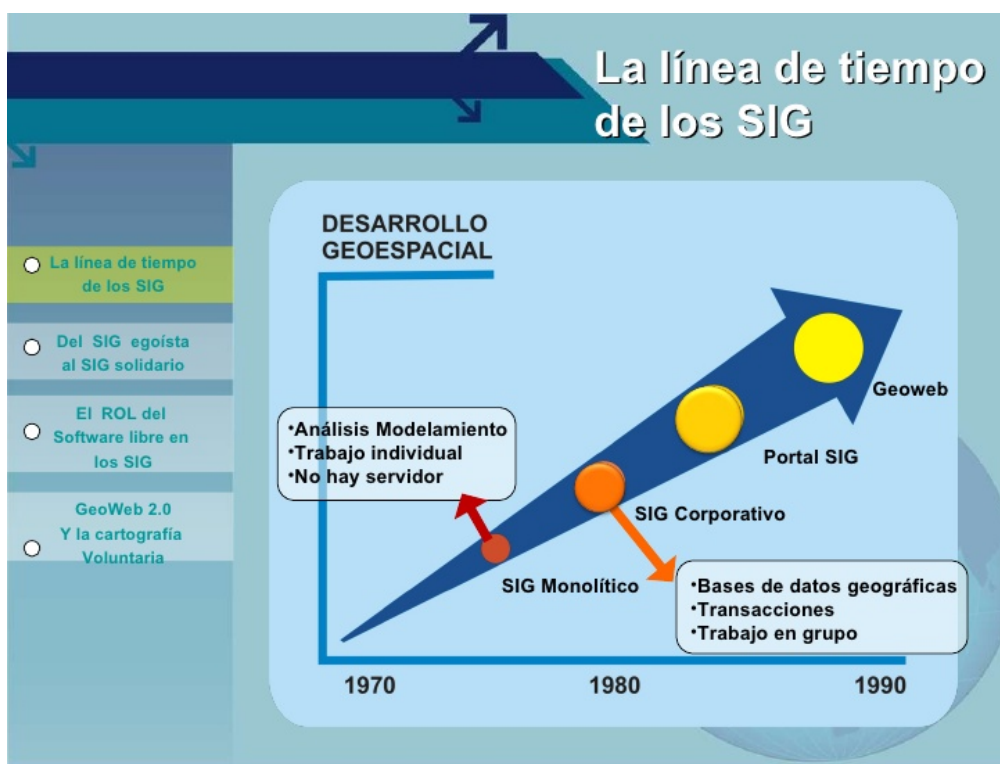


Figura 5. Evolución de los sistemas de información geográfica
(www.gistop.com.mx, 2014).

2.2. La necesidad y tratamiento de la información geográfica.

Los sistemas de información geográfica (SIG) se han constituido durante los últimos veinte años en una de las más importantes herramientas de trabajo para investigadores, analistas y planificadores, entre otros, en todas sus actividades que tienen como insumo el manejo de la información (bases de datos) relacionada con diversos niveles de agregación espacial o territorial, lo cual está creando la necesidad de que estos usuarios de información espacial conozcan acerca de esta tecnología. Aunque los sistemas de información geográfica (SIG) tienen gran capacidad de análisis, estos no pueden existir por sí mismos, deben tener una organización, personal y equipamiento responsable para su implementación y sostenimiento, adicionalmente este debe cumplir un objetivo y estar garantizados los recursos para su mantenimiento (Haining R., 2005).

Lo que perseguimos en esta aproximación es dejar constancia del valor y la necesidad de disponer de información geográfica en cualquiera de las actividades que habitualmente realizamos y especialmente de las ventajas que conlleva su manejo mediante un Sistema de Información Geográfica.

Los *sistemas de información geográfica* son una tecnología de transformación que habilita a los negocios a ver y analizar datos desde una perspectiva geográfica. El *SIG* integra la estrategia de negocios y organiza la información necesaria para optimizar e implementar la toma de decisiones.

Los SIG ayudan en el estudio de la distribución y monitoreo de recursos, tanto naturales como humanos, así como en la evaluación del impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente natural. De esta forma contribuimos en la planificación de actividades destinadas a la preservación de los recursos naturales. Toda la generación de nueva información que puede proveer un SIG depende significativamente de la información que poseen las bases de datos disponibles. La calidad de esta base de datos y sus contenidos determinan la cantidad y calidad de los resultados obtenidos del SIG (Kimerling a. & Guptill s., 2012).

Por regla general sabemos que la posibilidad de poder acceder a la información adecuada en el momento preciso significa tener una clara ventaja competitiva con respecto a aquellos individuos que no tienen la capacidad de acceder a ella. Es por ello que la información ha pasado a ser un recurso más de nuestras economías, siendo cada vez más necesaria para poder obtener bienes y proporcionar servicios. Por otro lado, es evidente para todos nosotros que las actividades humanas se han desarrollado a lo largo de los siglos sobre la superficie terrestre, que aparece como continente y marco de sustentación sobre el cual el hombre actúa. Es por este motivo que el control sobre el territorio, y, por tanto, sobre la información referente a él ha sido considerado siempre un factor clave (Guerra, G. And Lewis J., 2013).

Puede ser difícil comprender como la tecnología del SIG, construido esencialmente para manejar mapas puede ser adaptado a las necesidades del

modelado de simulación, especialmente cuando ese no se percibe como una plataforma óptima para modelación (Kimerling A. & Guptill S., 2012). Lo crítico del SIG con respecto a la modelación es su habilidad para manejar el tiempo, la representación de variaciones continuas y las rudimentarias capacidades de modelación. Sin embargo, hay buenas razones para justificar porque usarlo o relacionarlo con la simulación y/o sistemas de modelación. Este tipo de simulación la cual toma en cuenta las variables espaciales se le conoce como Geo Simulación y es el mejor campo para poder conocer el comportamiento de fenómenos espaciales.

El interés por el conocimiento de la distribución espacial de las propiedades más significativas de la superficie terrestre, así como la necesidad de realizar un inventario y una localización de estas propiedades se remonta a tiempos antiguos. En la época contemporánea ese interés por la realidad territorial ha crecido, si cabe, más considerablemente. Conocer a que obedecen fenómenos como los movimientos migratorios de una población determinada, o que se deben unos procesos de urbanización concretos y por supuesto, llegar a conocer cuál es la disposición de los recursos naturales en un determinado territorio, se ha convertido en un objetivo principal a cualquier nivel. Por todo ello no es exagerado afirmar que entre los diferentes tipos de información existentes que podemos identificar, la información geográfica es sin duda, una de las más importantes por su riqueza de conocimientos, el aprovechamiento económico que se hace de ella y su valor geopolítico (Loshin D., 2003).

La información geográfica, entendida como aquella información que puede ser relacionada con localizaciones de la superficie de la tierra nos permite conocer muchos de los problemas de nuestro entorno, reconociendo las relaciones espaciales que existen entre ellos, de manera que les podamos hacerles frente con unas mayores garantías de éxito llevando a cabo una buena gestión. En concreto la información geográfica describe elementos en función de sus atributos o características descriptivas, en función de sus relaciones espaciales y en función de un tiempo. Su verdadero valor estriba en cómo, a través de estas

características, es capaz de mostrarnos la realidad geográfica de la cual dependen la mayoría de las actividades del hombre (Guerra, G. and Lewis J., 2013).

Como bien puede apreciarse la diferencia entre disponer o no de esta información no es trivial. A esto se debe que multitud de gobiernos en todo el mundo dediquen gran cantidad de su inversión a recoger y lo que es más importante a controlar eficazmente toda esa información.

Esta presentación acerca de la necesidad y el valor que en la actualidad tiene la información geográfica lleva a plantearnos el hecho clave de cómo manejar con facilidad dicha información geográfica. Las características concretas de la información territorial, hacen que sea necesario el desarrollo de herramientas altamente especializadas para la gestión de la misma. Es por ese motivo que los SIG son susceptibles de ser usados en cualquier aplicación cuyo objetivo principal sea gestionar algún tipo de información geo referenciada, referida por tanto a los elementos o fenómenos que tienen lugar en la superficie de nuestro planeta.

Durante todo el proceso de una Empresa, a partir de los insumos de la materia prima, diseño del producto hasta el servicio postventa, intervienen decisiones las cuales pueden ser tomadas utilizando información geográfica, por ejemplo en donde se van a comprar las materias primas de tal manera que los costos de recolección sean mínimos, en donde se va a vender el producto y en que mezcla de tal manera que les genere la máxima ganancia y la saturación del mercado, cuál va a ser el proceso de distribución de tal forma que los costos sean mínimos, como será atendido el proceso postventa, etc. (Ayala J, 2012)

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) les otorgarán las respuestas a interrogantes tales como, (Colegio De Ingenieros De Caminos, Canales Y Puertos, 2008)

- ¿Dónde se ubican mis clientes?
- ¿Cómo es el ámbito geográfico que los circundan?
- ¿Dónde se ubican mis locales o negocios?
- ¿Cuál es el radio de acción de los locales o negocios?
- ¿Dónde se localizan mis competidores?

- ¿Dónde se ubican los consumidores potenciales por productos según su perfil?
- ¿Cómo definir las áreas de ventas de mis vendedores?
- ¿Cuáles son los recorridos óptimos para el despacho de mercadería?
- ¿Qué cantidad de camiones debo utilizar para mis recorridos óptimos?
- ¿Cuáles son las zonas comerciales?
- ¿Cuáles son los barrios o localidades de mayor nivel socioeconómico?
- ¿Dónde se ubican las manzanas con mayores propietarios de vivienda?
- ¿Dónde se ubican las manzanas de mayor densidad poblacional?

2.3. La información espacial en México.

El poder resolver problemas que impliquen información espacial requiere que todo el proceso de análisis se lleve a cabo de manera integral, es decir que la ubicación de la información geográfica, la visualización de esta en un SIG, el análisis de las características, dimensiones espaciales y la relación entre objetos y por último la realización de modelos en base a ésta y su análisis cuantitativo más profundo de las variables espaciales, se lleve a cabo de manera completa, normalmente este tipo de análisis se lleva hasta la etapa de visualización dejando las últimas dos partes inconclusas, de aquí la importancia de diseñar y desarrollar una técnica para elevar los niveles de productividad en la empresa productora de jugos y en base a este resultado poder tomar mejores decisiones.

El aplicar estas técnicas en la toma de decisiones en las empresas es de suma importancia debido a las siguientes razones, (Fondo Social Europeo Unión Europea, 2009):

Las Empresas en México como una de las principales herramientas para poder ser competitivas en el ámbito global es la inclusión de sistemas de información geográfica y la información geo espacial en la toma de sus decisiones para la elaboración de planes que los lleven a ser más efectivos en sus acciones y puedan aprovechar de mejor manera sus recursos escasos. El principal generador de información geo espacial en México es el Gobierno, la cual es elaborada para otros fines además de tener precios muy altos y estándares bajos de calidad. Todo

lo anterior se agrava más al no contar con la suficiente gente capacitada que conozca y maneje estos sistemas. De aquí la necesidad de generar nuevas técnicas de análisis espacial que le permita a las empresas manejar la información geo espacial existente en el mercado, de tal forma que le pueda ser útil para sus fines, hacer el levantamiento de la propia información si así se requiriera, procesarla y convertirla en conocimiento que le pueda servir para la toma de mejores decisiones y elaboración de planes que les permita utilizar sus recursos de manera más óptima, una de las principales condiciones de que deben de cumplir estas herramientas es que el proceso les debe de ser rentable.

Lo que se requiere desarrollar es el diseño y desarrollo de técnicas de análisis espacial que se puedan implementar en las empresas mexicanas, esa sería una de sus aplicaciones, que les permitan recopilar información geográfica, que combinada con la del negocio se pueda procesar de manera que sirva de base para la toma de decisiones y planes de acción, que les permita utilizar de manera eficiente sus escasos recursos logrando altos niveles de competitividad, estas prácticas les deben de ser económicas y rentables. Esta metodología estará formada de las siguientes etapas:

- a. Evaluación de la información existente en el mercado (análisis de los productos de información geo espacial tanto de Empresas Privadas como los ofrecidos por el Gobierno).
- b. En el caso de que la información disponible en el mercado no sea la adecuada se deberán de aplicar herramientas estadísticas para la obtención y procesamiento de información geográfica o algún esquema que les ayude a obtener ésta, pero de manera económica, como por ejemplo asociarse con otras Empresas para censos comunes de tal manera que el costo se reparta entre estas (dentro de este esquema se encuentra el diseño de procesos que nos ayuden a lograr tener la información espacial como sistemas de geo codificación o digitalización de imágenes).
- c. Integración de la información del negocio y geográfica utilizando un sistema de información geográfica, o diseño de uno, que le permita obtener

información útil para la toma de decisiones (dentro de este punto se considerara el análisis de los sistemas de información geográfica de código abierto).

- d. Elaboración y desarrollo de técnicas de análisis espacial que les permita saber con mayor certeza el patrón de comportamiento de los elementos de estudio, conocer las relaciones que se dan entre estos y con su ambiente y poder estimar cuál será su comportamiento futuro, dentro de estos se incluirán entre otras cosas algunas herramientas de investigación de operaciones con el fin de complementar los modelos espaciales. Estas técnicas se podrán utilizar bajo los mismos principios en otras ramas.
- e. Consolidación de la información en reportes ejecutivos para la toma de decisiones y la implementación y medición de resultados.
- f. Elaboración de planes que les lleve a realizar acciones que les permita ser rentables.

El contar con nuevas técnicas de análisis espacial puede representar la oportunidad para desarrollar ventajas competitivas, tomando en cuenta que, en diversos índices globales de competitividad, la tendencia de México va al alta (de 2010 a 2015 avanzamos 8 lugares en el listado de competitividad del Instituto Internacional para la Gerencia del Desarrollo). (Tecnología hecha palabra ,2015)

Las herramientas que normalmente se manejan en el análisis espacial son las siguientes (Correa, A. F., 2008):

- Manipulación de datos espaciales, las herramientas básicas de gestión de un SIG.
- Análisis descriptivo y exploratorio de datos espaciales.
- La georeferenciación de los datos que permite manejar un conjunto de conceptos nuevos como son los de distancia (entre dos puntos), adyacencia (entre dos polígonos o dos líneas), interacción y vecindad (entre puntos).

- Aunque generalmente se incluye dentro del análisis espacial el estudio de variables espaciales, las herramientas de análisis espacial utilizadas se han visto ya en los temas de álgebra de mapas e interpolación; por tanto, el resto del tema se centra en el análisis espacial de entidades:

- La distribución espacial de entidades puntuales.
- Las relaciones entre entidades lineales interconectadas (redes).
- Las relaciones entre polígonos fronterizos.

Algunas de las herramientas de análisis espacial cuyo desarrollo no se ha profundizado:

- Análisis estadístico inferencial¹³ de datos espaciales para determinar si los resultados del análisis descriptivo, verifican determinadas hipótesis acerca de los datos.
- Modelización espacial con el objeto de predecir la distribución espacial de los fenómenos estudiados.
- Siendo algo más restrictivos, el análisis espacial debe incluir un conjunto de herramientas que amplían las capacidades del análisis estadístico tradicional para abordar aquellos casos en los que la distribución espacial de los datos tiene influencia sobre las variables medidas y esta se considera relevante.
- Simulaciones de modelos geo espaciales.
- Aplicación de técnicas de optimización a información geo espacial.

En cuanto al campo en donde se va a implementar:

En México el uso de la información geográfica en la toma de decisiones por ejecutivos es incipiente, se implementaron reuniones por parte de la Empresa Mapas Inteligentes, S.A. de C.V. con algunas de las grandes empresas instaladas

¹³ Es una parte de la estadística que comprende los métodos y procedimientos que por medio de la inducción determina propiedades de una población estadística, a partir de una pequeña parte de la misma.

en México como: Bimbo, Kraf, Coca Cola, Grupo Pepsico, Unilever, Britans American Tabacco, Alpura, Jumex, Bonafont, etc., con el fin de compartir metodologías y prácticas que nos ayuden a obtener y procesar de una mejor manera la información geográfica, para la correcta toma de decisiones. Como resultado de estas podemos decir que las Empresas en México tienen la noción de la importancia del uso de la información geográfica pero actualmente no la utilizan de manera constante en el diseño de sus estrategias y en la aplicación en sus operaciones.

La mayor parte de la información geo espacial la que genera y almacena el gobierno a través de secretarías de estado, organismos y agencias de diferentes niveles (federal, estatal y municipal) y normalmente esta información es para fines definidos, cada institución recaba y almacena los datos según sus propios estándares lo que produce redundancia, duplicidad de esfuerzos y costos y casi todos se basan en métodos tradicionales. El único organismo gubernamental en México que genera este tipo de información, para la venta al público, es el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), actualmente el cuál la produce de manera muy general y con un tiempo de desfase que va entre 5 y 10 años, lo que nos quita oportunidad de negocios y hace más difícil la utilización de ésta. Existen algunas Empresas privadas, las cuales generan su información geo espacial con las deficiencias antes señaladas y precios muy elevados, por ejemplo, la venta de cartografía de un Estado de la República va de \$ 20,000 a \$ 50,000 de la misma forma los programas (software) para el uso de esta información tienen precios muy elevados que van desde \$ 1,500 USD hasta \$ 35,000 USD. Por otra parte, al realizar el levantamiento de información geográfica por las Empresas no les es rentable, ya que se debe contratar a personal especializado para el levantamiento de información, con conocimientos para el uso de las herramientas como el GPS y en algunas situaciones los costos para colocar a las personas en los lugares donde se pretende levantar la información, lo que agudiza todavía más el problema. (GONZÁLEZ, J.S. and CÁCERES, G., 2013).

2.4. El equipo GPS como herramienta de levantamiento de información espacial.

La situación de los satélites puede ser determinada de antemano por el receptor, con la información del llamado almanaque (un conjunto de valores con 5 elementos orbitales, parámetros que son transmitidos por los propios satélites. La colección de los almanaques de toda la constelación se completa cada 12-20 minutos y se guarda en el receptor GPS.

- La información que es útil al receptor GPS para determinar su posición se llama efemérides. En este caso cada satélite emite sus propias efemérides, en la que se incluye la salud del satélite (si debe o no ser considerado para la toma de la posición), su posición en el espacio, su hora exacta, información doppler, etc.
- El receptor GPS utiliza la información enviada por los satélites (tiempo en la que emitieron las señales, localización de los mismos) y trata de sincronizar su reloj interno con el reloj atómico que poseen los satélites. La sincronización es un proceso de prueba y error que en un receptor portátil ocurre una vez cada segundo. Una vez sincronizado el reloj, puede determinar su distancia hasta los satélites, y usa esa información para calcular su posición en la tierra.
- Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de la esfera, con centro en el propio satélite y de radio la distancia total hasta el receptor.
- Obteniendo información de dos satélites se nos indica que el receptor se encuentra sobre la circunferencia que resulta cuando se interceptan las dos esferas.
- Si adquirimos la misma información de un tercer satélite notamos que la nueva esfera sólo corta la circunferencia anterior en dos puntos. Uno de ellos se puede descartar porque ofrece una posición absurda. De esta manera ya tendríamos la posición en 3-D. Sin embargo, dado que el reloj que incorporan los receptores GPS no está sincronizado con los relojes

atómicos de los satélites GPS, los dos puntos determinados no son precisos.

- Teniendo información de un cuarto satélite, eliminamos el inconveniente de la falta de sincronización entre los relojes de los receptores GPS y los relojes de los satélites. Y es en este momento cuando el receptor GPS puede determinar una posición 3-D exacta (latitud, longitud y altitud). Al no estar sincronizados los relojes entre el receptor y los satélites, la intersección de las cuatro esferas con centro en estos satélites es un pequeño volumen en vez de ser un punto. La corrección consiste en ajustar la hora del receptor de tal forma que este volumen se transforme en un punto.

La posición calculada por un receptor GPS requiere el instante actual, la posición del satélite y el retraso medido de la señal recibido. La precisión es dependiente en la posición y el retraso de la señal.

Al introducir el atraso, el receptor compara una serie de bits (unidad binaria) recibida del satélite con una versión interna. Cuando se comparan los límites de la serie, las electrónicas pueden meter la diferencia a 1% de un tiempo BIT, o aproximadamente 10 nanosegundos por el código C/A. Desde entonces las señales GPS se propagan a la velocidad de luz, que representa un error de 3 metros. Este es el error mínimo posible usando solamente la señal GPS C/A.

La precisión de la posición se mejora con una señal P (Y). Al presumir la misma precisión de 1% de tiempo BIT, la señal P (Y) (alta frecuencia) resulta en una precisión de más o menos 30 centímetros. Los errores en las electrónicas son una de las varias razones que perjudican la precisión. En la *figura 6* se observa el funcionamiento de los satélites que transmiten a los GPS la ubicación precisa.

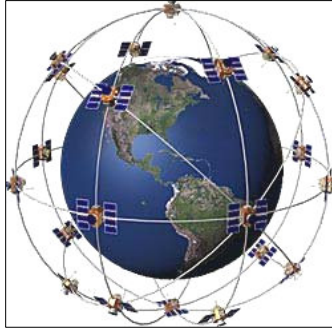


Figura 6. Constelación de sistema de satélites para el sistema de posicionamiento global (GPS) (GISTOP, 2014).

2.5. Aplicaciones de los sistemas de información geográfica y del análisis espacial.

Análisis espacial es un término usado en los sistemas de información geográfica y las ciencias de información geográfica, una definición es una colección de técnicas y modelos que explícitamente usan la referencia espacial asociada con cada valor u objeto que esta especificada con el sistema bajo estudio, los métodos de análisis espacial necesitan hacer relaciones sobre los datos describiendo las relaciones espaciales o la interacción espacial entre los casos (EXPOKNEWS, 2014).

La información espacial contiene una referencia geográfica explicita como latitud¹⁴ y longitud¹⁵ o una referencia implícita como domicilio o código postal. Las referencias implícitas pueden ser derivadas de referencias explicitas mediante geocodificación.

Los SIG funcionan con dos tipos diferentes de información geográfica: el modelo vector y el modelo raster, (EXPOKNEWS, 2014) (Ver Figura 7). El modelo raster¹⁶ ha evolucionado para modelar tales características continuas. Una imagen raster comprende una colección de celdas (píxel) de una grilla más, como un

¹⁴ Es la distancia angular entre la línea ecuatorial (el ecuador), y un punto determinado de la Tierra, medida a lo largo del meridiano en el que se encuentra dicho punto.

¹⁵ Es la distancia angular entre un punto dado de la superficie terrestre y el meridiano que se tome como 0°, medida a lo largo del paralelo en el que se encuentra dicho punto, una circunferencia cuyo centro es la intersección del eje de la Tierra con el plano del citado paralelo.

¹⁶ Son formas de ilustrar el espacio intuitivo y versátil (Celdas con información), que ayudan a comprender mejor los elementos objeto de estudio según su naturaleza.

mapa o una figura escaneada. Ambos modelos para almacenar datos geográficos tienen ventajas y desventajas únicas y los SIG modernos pueden manejar varios tipos. En el modelo vector¹⁷, la información sobre puntos, líneas y polígonos se almacena como una colección de coordenadas x, y. La ubicación de una característica puntual, pueden describirse con un sólo punto x, y. Las características lineales, pueden almacenarse como un conjunto de puntos de coordenadas x, y. Las características poligonales, pueden almacenarse como un circuito cerrado de coordenadas. El modelo vector es extremadamente útil para describir características discretas, pero menos útil para describir características de variación continua.

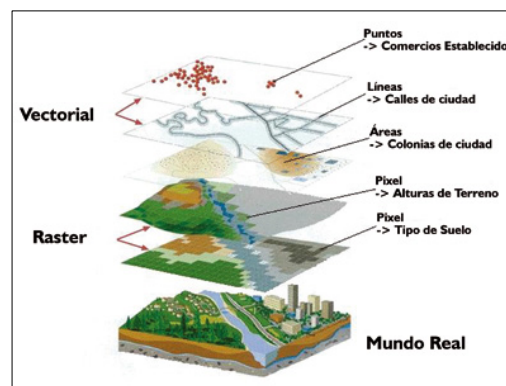


Figura 7. Modelo de datos (EXPOKNEWS, 2014).

El análisis espacial tiene tres principales elementos: el primero es la cartografía, cada dato debe de ser representado como un mapa o de base para la generación de nuevos mapas. Segundo el análisis espacial incluye formas de modelación matemática, donde el resultado de los modelos depende de la interacción espacial entre los objetos en el modelo o las relaciones espaciales o el posicionamiento geográfico de los objetos con el modelo. Finalmente, el análisis espacial incluye el desarrollo y la aplicación de técnicas estadísticas para el correcto análisis de los datos espaciales y los cuales como consecuencia hacen uso de la referencia espacial de la información (Haining R., 2005).

¹⁷ Son formas de ilustrar el espacio (Puntos, líneas o polígonos), que ayudan a comprender mejor los elementos objeto de estudio según su naturaleza.

La importancia del análisis espacial en una serie de áreas, el análisis espacial es concerniente con el estudio de comportamientos de variables y asociación entre variables, pero en ausencia de series de tiempo no es posible encontrar esas relaciones, esto significa que ni los sistemas de causa efecto ni las direcciones en estos funcionan. En el mejor análisis espacial puede ponerse el punto de la posible causa la cual será seguida entonces por otros métodos.

Grandes cantidades de datos con referencia espacial son disponibles y pueden ser relacionados sobre una referencia común espacial con la ayuda de un sistema de información geográfico. La variabilidad geográfica puede ser mapeada y analizada a un nivel de mucho detalle que en el pasado fue difícil realizarlo. La disponibilidad de tal información geo referenciada provee una oportunidad de construir nuevas visiones de viejos problemas y explorar visiones de nuevos datos espaciales que propician un mejor entendimiento y nuevas posibilidades de mejorar soluciones. La calidad de la información es fundamental para obtener los resultados deseados estos se deben de evaluar en función del problema a resolver.

El SIG está siendo extendido en muchos campos de la representación espacial, análisis, modelación, políticas y diseño, esto es lo que se conoce "Análisis Espacial Avanzado".

Análisis espacial usa el SIG como su mayor herramienta desde las representaciones básicas hasta adaptaciones de problemas de diferente índole. La funcionalidad estándar del SIG proporciona una herramienta para la manipulación y visualización de la información y esto proporciona un ambiente de soporte para aplicaciones de rutina estructuradas en la administración operacional. Sin embargo, el soporte para las técnicas de análisis espacial avanzadas es que el SIG proporciona un poderoso camino para generar y evaluar estrategias, políticas y planes.

El desarrollo del software de SIG ha sido acompañado de un desarrollo de un mainframe a una computadora de escritorio, con la conjunción de diversas funciones en un solo software (y algunas veces también datos) y diseñados para

aplicaciones particulares. Hoy los softwares comerciales de SIG proporcionan una gama de productos que van desde versiones muy sencillas basadas en internet hasta algunos con potentes motores con una gama de funciones para la manipulación de la información.

El análisis espacial pone en evidencia estructuras y formas de organización espacial recurrentes, que resumen por ejemplo los modelos centro-periferia, los campos de interacción de tipo gravitatorio, las tramas urbanas jerarquizadas, los diversos tipos de redes o de territorios, etc.

Analiza los procesos que se encuentran en el origen de esas estructuras, a través de conceptos como los de distancia, de territorialidad, de interacción espacial, de alcance espacial, de polarización, de centralidad, de estrategia o elección espacial.

Las leyes de la espacialidad vinculan esas formas y esos procesos, y están integradas en las teorías y los modelos del funcionamiento y la evolución de los sistemas espaciales.

Este tipo de análisis se aplica en campos relacionados con la ordenación del territorio (urbanismo, geo marketing, desarrollo rural, realización de obras públicas, ubicación óptima de elementos, prevención de riesgos naturales, redes de distribución, turismo, etc.), y sus resultados han dado interesantes frutos en estudios de otras disciplinas afines a la geografía como la economía espacial, la historia, la agronomía, la arqueología o las ciencias medioambientales. A través de ellos se establecen:

- Relaciones de proximidad.
- Conectividad.
- Áreas de influencia.
- Cálculo de rutas.
- Control de flotas.
- Estudio de redes.

La mayor parte de las actividades que lleva a cabo el hombre tienen una clara vertiente geográfica. Cada vez con mayor frecuencia se tiende a estudiar detalladamente esa vertiente espacial de los fenómenos que ocurren alrededor y la forma en que las personas nos vemos involucrados en ellos. Por este motivo la componente territorial toma una gran relevancia y esa presencia constante de información geográfica requiere herramientas como los SIG para su adecuado tratamiento.

De este modo el uso y por tanto los métodos y las técnicas de estos sistemas, como herramientas idóneas para tratar esa información, se extiende en multitud de nuevas posibilidades de utilización de dichas herramientas aplicadas al tratamiento de la información geográfica (Haining R., 2005).

2.6. Casos de éxito en empresas que han aplicado proyectos de localización inteligente.

Minimización de costos de servicio al cliente en British telecom.

BT (British telecom) en 2012 realizó un ahorro en costos de 23 millones de libras en 5 años como resultado de la implementación de una solución de localización inteligente para sus 17,000 ingenieros de servicio en campo. La solución permitía responder a sus ingenieros más rápidamente que lo que previamente lo hacían, de esta manera redujeron los problemas del sistema de red y minimizaron los costos del servicio al cliente y de los ingenieros (EXPOKNEWS, 2014).

Minimización de costos de servicio al cliente en Master Card.

MasterCard, la cual había operado por largo tiempo sus sistemas de base de datos para soportar su servicio web y de teléfono, estuvo gastando \$ 400,000 dólares cada año para mantener su sistema dual. Con la implementación de un sistema unificado de localización inteligente, MasterCard no solo fue capaz de eliminar esos costos, también proporcionó un mejor servicio a sus 10 millones de clientes, este proyecto le generó un retorno sobre la inversión de 1,152% en los primeros seis meses (EXPOKNEWS, 2014).

La calidad y confiabilidad en las medidas de riesgo en Tapco.

Tapco, la mayor aseguradora en huracanes en Carolina del Norte, por años ha empleado métodos manuales para calcular la distancia a la costa, información fundamental para determinar el riesgo de exposición. Después de emplear una solución de localización inteligente, la compañía fue capaz de automatizar el proceso, reduciendo significativamente el tiempo de su personal staff y mejorando la calidad y la confiabilidad de las medidas de riesgo (EXPOKNEWS, 2014).

Ubicación y rentabilidad de los restaurantes Ihop

Ihop, la cadena con 1200 restaurant, estuvo acostumbrada a hacer las decisiones de localización basada en limitada y fragmentada información del mundo real. Con la implementación de una solución sofisticada de localización inteligente, la cadena fue capaz de optimizar, el análisis de datos de más de 60,000 clientes en 100 localizaciones, teniendo una visión muchísimo más rica del efecto de la ubicación de sus restaurants y sus rentabilidades (EXPOKNEWS, 2014).

2.7. Distribución y la distribución comercial.

La distribución se define como la acción de entregar un producto u objeto a diversos destinatarios, es decir es el proceso que consiste en entregar físicamente el producto al consumidor final. Ver *figura 8*.



Figura 8. Distribución de productos de origen a destino final (EXPOKNEWS, 2014).

Es un término empleado en la producción y en el comercio para descubrir las actividades relacionadas con el movimiento de los productos terminados desde el final de la fabricación hasta el consumidor ver figura 7. (ROJAS M., GUIASO E. & CANO J., 2004).

La distribución comercial es responsable de los productos lleguen en tiempo y forma, con ello logran reducir los costos de distribución de lo contrario, el margen de la rentabilidad de un producto se verá afectado, ya la distribución comercial es el último eslabón de la cadena de suministros antes de llegar al consumidor. Por ejemplo, una bebida refrescante tiene un valor por su marca, imagen etc., la distribución comercial aumenta el valor del producto poniéndola a disposición del cliente en el momento y lugar en que la necesita o desea comprarla.

Para que los productos se vendan no basta con tener un producto de calidad, a un precio conveniente y que sea conocido por los consumidores, sino que es necesario además que sea accesible para los consumidores, es en donde entra la planeación en la distribución comercial. En este sentido, es preciso situar el producto en los puntos de venta donde los consumidores adquieren los bienes.

Las decisiones sobre la distribución son de un carácter estratégico para las empresas, ya que no es tan fácil modificar un canal de distribución ya que se deben considerar diversas variables. Las decisiones se deben a dos situaciones una de ellas es cuando intervienen otras empresas o cuando es para desarrollo de una red propia y, por ello, las modificaciones sólo se pueden contemplar en el largo plazo.

Aunque la modificación de la distribución es una decisión estructural, existen cuestiones tácticas que pueden modificarse en el corto plazo y que afectan a la distribución, como por ejemplo las acciones promocionales.

La posición que la empresa ocupa en el proceso de distribución es un elemento crucial en los problemas a los que se enfrenta. Es decir, una empresa de manufactura tendrá que decidir sobre los canales de distribución que desea utilizar, las condiciones y el grado de presencia que quiere que tengan sus productos en el mercado, mientras que, para una empresa de distribución, las decisiones dependerán de la selección de proveedores, la negociación de precio del producto para la distribución y la búsqueda de un mercado rentable donde actuar con sus establecimientos comerciales.

2.7.1. Funciones de la distribución.

Principalmente la función de la distribución consiste en establecer un contacto con los clientes, pero el fabricante debe considerar ciertas actividades para que el producto se coloque en el mercado y llegue en tiempo y forma al consumidor final, tales como:

- **Transportación:** Envío de los productos del lugar de fabricación al lugar de consumo.
- **Surtir:** Adaptar los productos en distintos lugares de consumo.
- **Fraccionar:** Colocar los productos en pequeñas cantidades y en diferentes lugares, de acuerdo a las necesidades del cliente.
- **Almacenar:** Asegurar la planeación de producción, en relación al consumo de los productos. Es decir, de acuerdo a la velocidad en que se consume el producto con el cliente se fabricaran, para evitar que el producto se detenga por mucho tiempo y nos genere altos costos de inventario.
- **Contactar:** Facilitar la comunicación con los diversos grupos de compradores.
- **Informar:** Dar a conocer las necesidades del mercado para lograr la competitividad y la satisfacción del cliente.

2.7.2. Canales de distribución.

Los canales de distribución, son los medios que permiten la movilidad de los productos desde el fabricante hasta el consumidor final. Por lo general se componen de personas y empresas (intermediarios) que a través de ellos circulan los productos para llegar al último cliente, quien los compra con el fin de usarlos o consumirlos. Es decir, son las vías elegidas por una empresa, que un producto recorre desde que es creado hasta que llega al consumidor final. Todo canal de distribución desempeña un cierto número de tareas o funciones necesarias para ejercer el intercambio de productos.

De acuerdo a las necesidades del fabricante y del consumidor los canales de distribución pueden variar ya que algunos van directamente del fabricante al

consumidor y en otros los intermediarios son quienes son los encargados de crear la cadena de suministro para llevar el producto hasta el consumidor final.

2.7.3. Tipos de canales de distribución

Los canales de distribución pueden dividirse en canales directos e indirectos, los canales de distribución directos consisten en que el fabricante hace llegar sus productos a manos del consumidor final mediante sus medios y recursos, mientras tanto los canales de distribución indirectos es cuando el fabricante no tiene los medios o lo genera más costos distribuir sus productos y es donde actúan los diversos intermediarios, quienes se encargan de llevar los productos a las manos del consumidor final.

El canal de distribución indirecta se divide en tres tipos:

- Corto: Consiste en la venta y entrega del fabricante a un detallista, (Tiendas, miscelánea o abarrotes) y finalmente es quien lo vende al consumidor final.
- Largo: Consiste en la venta y entrega a un mayorista (Abarroteras, Clubes), ellos a su vez les venden a detallistas y finalmente los detallistas llevan el producto al consumidor final.
- Doble: Consiste en la venta y entrega a un agente exclusivo (empresas similares al producto en venta, empresas con gran experiencia en la distribución de sus productos), es quien distribuye a los mayoristas, por consecuente la cadena continua hacia los detallistas y finalmente al consumidor final.

Para elegir el canal indicado y se logre la introducción de su producto en el mercado, la empresa debe considerar:

- Mercado: son las personas u organizaciones (Clientes) con necesidades que satisfacer, dinero para gastar y voluntad de gastarlo.
- Producto: Es el conjunto de atributos tangibles e intangibles que tienen un una forma, empaque, color, precio, calidad y marca, sumado a ello los

servicios y la experiencia del vendedor; el producto no solo puede ser un objeto también podría ser un bien, un servicio o un lugar.

- Intermediarios: Son los eslabones en la cadena de suministro que están colocados entre los productores y los consumidores o usuarios finales de tales productos y se considera su colocación en el mercado para determinar si la distribución del producto será adecuada en sus manos, ya que los intermediarios tienen diversas formas de colocar el producto en el mercado mediante promociones, contacto con compradores potenciales, la negociación y el financiamiento del producto.

Para este proyecto se analizó y de acuerdo a la operación de distribución de la empresa, trabaja con el canal corto porque la entrega sale de la planta y llega directamente a los detallistas (tiendas, misceláneas o abarrotes), para que finalmente llegue al consumidor final.

2.7.4. Funciones de los canales de distribución

Los canales de distribución tienen diversas funciones que permiten que el fabricante tenga la seguridad de que su producto se encuentra en el lugar y en el momento correcto y que tiene la seguridad de competir con otras empresas, a continuación, se mencionan algunas de las funciones:

- Contribuyen con la reducción de costos en los productos debido a que facilitan almacenaje, transporte y evitan rechazos.
- Intervienen en la fijación de precios.
- Tienen una gran información sobre el producto, competencia y mercado.
- Posicionan al producto en el lugar que consideran más adecuado.
- Intervienen directa o indirectamente en el servicio posventa.
- Actúan como fuerza de ventas de la fábrica.
- Venden productos en lugares de difícil acceso y no rentables al fabricante.

2.7.5. Funciones del transporte en los canales de distribución.

Se ocupa de todas las actividades relacionadas directa o indirectamente con la necesidad de situar los productos en diversos destinos correspondientes, su función principal es trasladar el producto desde su lugar de origen (almacenamiento) hasta su lugar de destino. El transporte juega un papel importante en la distribución ya que es el medio por el cual llega el producto del fabricante al consumidor final, sin importar el tipo de canal de distribución que la empresa utilice.

Algunas empresas utilizan diversos medios de transporte para que los productos se coloquen en el mercado tales como:

- Aéreo
- Marítimo
- Terrestre

Para la realización del presente trabajo solo se seleccionará el medio de transporte terrestre (Camión y motocicleta) ya que la ubicación de la planta que elabora los jugos se encuentra a unos minutos de distancia del centro de distribución.

2.7.6. Transporte terrestre.

El transporte de carga es uno de los elementos vitales en la economía del país y se ha convertido en un factor clave de éxito para las empresas en función de la colocación oportuna de sus productos, adicionalmente constituye casi un 50% de los costos logísticos de una empresa.

El transporte de carga se ha rezagado tecnológicamente y operativamente, generando un servicio costoso, por diversos factores en los que están involucrados las vialidades, el combustible y la inseguridad en las carreteras.

La mayoría de las empresas tienen los mismos problemas que afectan sus costos de distribución, se destacan los siguientes:

- a) La deficiente infraestructura vial del país
- b) El obsoleto y deteriorado del parque vehicular
- c) Inseguridad en los recorridos de traslado
- d) La descoordinación genera tiempos muertos en la carga y descarga
- e) La falta de responsabilidad por parte de los conductores

2.8. Ingeniería de rutas.

La ingeniería de rutas se encarga de planificar estratégicamente las rutas de transporte más óptimas a futuro, del cual permite que tenga diferentes puntos con respuestas rápidas, máxima eficiencia y el mínimo costo posible. Con base a ello, este puede tener la capacidad de añadir nuevos clientes a las rutas completas maximizando los recursos que son los vehículos y repartidores; o que éste se pueda adaptar las rutas según el incremento de costo de combustible y los incidentes de tráfico u otros factores (PARTYKA, 2015).

Uno de los problemas de la distribución es el que se especializa en un programa de redes; la que se fundamenta en la necesidad de llevar unas unidades de un punto específico llamado la fuente de origen hacia otro punto llamado destino.

Los principales objetivos es un modelo de transporte son la satisfacción de todos lo requerimiento establecidos por el destino para la minimización de los costos relacionados por las rutas escogidas (*Figura 9*). El modelo que se aplica del transporte es amplio y puede generar soluciones que están al área de operaciones, inventarios y asignación de elementos.

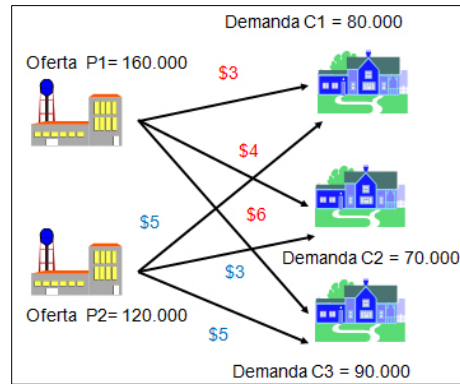


Figura 9. Planificación estratégica de rutas óptimas para reducción de costos (Gestión de operaciones, 2015).

Se puede llevar a cabo mediante un programa en el que la reestructuración permite la creación de múltiples soluciones, este se basa en aprovechar con visión a futuro y como una fuente de oportunidades para el desarrollo de capacidades más allá de los costos, es necesario el enfoque en las capacidades de innovación, en el desarrollo de marcas, el diseño de productos, la cadena de suministro, productividad y todos aquellos factores que brinde ventajas de largo plazo.

Los principales enfoques que se basa son:

- Días de entrega
- Horarios de apertura y cierre
- Horarios de entrega deseados
- Volumen y ubicación geográfica se emplean para crear rutas optimizados y equilibradas
- Rutas y secuencia de paradas

Todos estos factores permiten que la reingeniería¹⁸ se realice cuando sea necesaria.

Problema de optimización de rutas de distribución se basa en identificar para cada par de origen-destino, las rutas que conectan sus nodos con base en

¹⁸ Consiste en establecer secuencias nuevas e interacciones novedosas en procesos ya establecidos, para lograr que sean más eficientes.

distintos criterios. El diseño de rutas de reparto se realiza eliminando las localizaciones de los puntos a visitar y transformándolos en una densidad de demanda con una distribución estadística en la región de servicio del centro de distribución.

2.9. Optimización de rutas.

Una de las funciones que más ha evolucionado en los últimos años en las organizaciones es la de la distribución (Universidad Autónoma Del Estado De México Y La Asociación GVSIG, 2014).

Sin embargo, esta evolución ha derivado inexorablemente en un incremento de la complejidad de la operación de transporte y distribución lo que, unido a factores tales como la necesidad de reducir los costes de producción, el constante incremento de los precios del transporte o el aumento de los niveles de exigencia en las relaciones cliente-proveedor, han situado a la gestión logística como un elemento clave dentro de la estrategia de las empresas.

En este escenario, la capacidad de las empresas para optimizar sus rutas de transporte y distribución aparece como un elemento clave de la gestión logística; sin embargo, no todas las empresas abordan este problema de manera adecuada y sistemática.

Es importante conocer las claves necesarias para tratar de manera eficiente este tipo de proyecto por parte de las empresas, sustentándose en dos pilares claves:

- Analizar los factores más relevantes a la hora de abordar un problema de optimización tanto en lo que se refiere a las variables de interés como en la metodología de análisis de las mismas.
- Profundizar sobre las herramientas y métodos más vanguardistas aplicados hoy en día en esta materia, ofreciendo a los responsables las claves necesarias para asegurar la elección de la mejor solución teniendo en cuenta las características particulares de su proceso logístico.

En general podría entenderse por optimización de rutas todas aquellas acciones que contribuyan a la mejora de la función de distribución, bien sea en términos de nivel de servicio, mejora de la calidad, reducción de costes, etc.

Pero ¿de qué tipo de decisiones estamos hablando?, ¿A qué nivel se tiene que tomar?

Entre esta gran variedad de tecnologías destacan algunas tales como:

- Los sistemas de información geográfica.
- Los sistemas de localización geográfica, (por ejemplo, el GPS)
- Las aplicaciones informáticas capaces de calcular modelos matemáticos de optimización de rutas en base a una serie de restricciones intrínsecas al proceso logístico (disponibilidad de flota, localización geográfica de los puntos de distribución y entrega, franjas horarias de carga, recepción y entrega, costes variables de distribución, etc.).

Actualmente estas tecnologías tienden a integrarse en soluciones globales que han dado lugar a gran multitud de programas informáticos que ofrecen a las empresas la posibilidad de gestionar con mayor eficiencia y eficacia sus operaciones de transporte.

Las primeras herramientas de diseño óptimo de rutas y frecuencias surgen en la década del 70, basados en ideas intuitivas, sin una formulación del modelo y su función objetivo, en algunos casos sin exploración del espacio de soluciones. En la década del 80 se formulan algunas funciones objetivo, y se incorporan nuevos parámetros tales como el cubrimiento de la demanda, factor de carga (proporción de pasajeros parados respecto a la cantidad de asientos) y transferencias de los buses (Axhausen & Smith, 1984). En la década del 90 aparecen otros enfoques, como la utilización de meta heurísticas y la exploración del espacio de soluciones (Soto D., Soto W. & Pizón, 2008).

La función objetivo de la optimización de rutas consiste en minimizar el costo de distribución de todas las rutas. El costo de realizar dicho transporte es la suma de las cantidades comentadas a continuación:

- **Costo de uso de los vehículos**, que corresponde al del número de Km recorridos. Estos costos podrán variar en función del tipo de vehículo, capacidad del vehículo e incluso del tránsito vehicular.
- **Horarios de reparto**, en algunas partes de la ciudad se deberán realizar las entregas de productos en ciertos horarios, esto ya se realice por la mañana o por la noche para evitar infracciones de tránsito.

2.10. Problemas de rutas de vehículos (VRP¹⁹).

El problema de ruteo de vehículos, surge naturalmente como el problema central en los campos de transporte, distribución y logística. En algunos mercados, el transporte significa un alto porcentaje del valor de los bienes, cuando las empresas proporcionan un adecuado nivel de servicio con el fin de satisfacer las necesidades del cliente, puede llevar directamente a un incremento en las ventas, un mayor porcentaje de participación en el mercado y contribuir en la disminución de costos y, por consiguiente, en un aumento de las utilidades (PARTYKA, 2015).

El primer trabajo donde se plantea el VRP por primera vez fue por G.B. (Dantzig & J.H. Ramser, 1959), donde se aplicó a un problema distribución de combustible. Como se menciona en libro “que debes de saber acerca del problema de ruteo”, 2007, el VRP pertenece a la clase NP-Hard, esto quiere decir que son problemas que no se pueden resolver en un lapso de tiempo corto. El tiempo y esfuerzo computacional requerido para resolver este problema aumenta exponencialmente. Para este tipo de problemas es a menudo deseable obtener soluciones aproximadas, para que puedan ser encontradas lo bastante rápido y que sean suficientemente exactas para su propósito. Usualmente esta tarea es lograda usando varios métodos heurísticos, que dependen de cierta visión interna de la naturaleza del problema.

¹⁹ Vehicle routing problem

La función objetivo depende de la tipología y características del problema. Lo más habitual es intentar:

- A. Minimizar el costo total de operación
- B. Minimizar el tiempo total de transporte
- C. Minimizar la distancia total recorrida
- D. Minimizar el tiempo de espera
- E. Maximizar el beneficio
- F. Maximizar el servicio al cliente
- G. Minimizar la utilización de vehículos

La función objetivo en este trabajo será el minimizar la distancia total recorrida de cada cliente a cada centroide para lograr minimizar el costo total de la distribución y maximizar el servicio al cliente.

Para lograr la función objetivo se tomaron en cuenta algunas restricciones de que se mencionan a continuación:

- La venta de cada ruta no debe quedar por debajo o superior al 10% de su registro actual.
- La frecuencia de visita (Cantidad de clientes asignados por día), no debe rebasar las 70 visitas por día.²⁰
- Solo se asigna un cliente a una ruta.

²⁰ Limite asignado por la empresa de acuerdo a los tiempos de servicio registrados y a las distancias recorridas hasta el centro de distribución.

Esta hoja se dejó en blanco de manera intencional

Capítulo 3. Método de optimización de rutas del centro de distribución denominado La Villa.

3.1. Descripción del equipo y los sistemas de cómputo utilizados.

En este apartado se describen los sistemas de cómputo (software) que se utilizaron en el proyecto, así como el receptor de posicionamiento global (GPS) utilizado.

Los equipos que se utilizaron son dispositivos móviles con un receptor de posicionamiento global (GPS), son herramientas que nos ayudaron a censar clientes o de otra manera se le puede llamar puntear a los clientes, a través de estos se obtuvieron las posiciones de los clientes por medio de las coordenadas, una vez obtenida esta información se transfirió en un sistema de información geográfica y por medio de dichas coordenadas se observó la ubicación de los clientes dentro del mapa digital o cartografía.

Los GPS poseen una gran facilidad de uso, cualquier persona que pueda leer coordenadas y encontrar la correspondiente posición en el mapa puede usar un receptor de este tipo. Para recoger datos con una precisión suficientemente buena como para introducir en un SIG son necesarios unos procedimientos un poco más complejos. Además, los datos de un GPS son tridimensionales de forma intrínseca, aparte de proporcionar latitud y longitud (u otra información "horizontal"), un receptor GPS también proporciona información sobre la altitud; la precisión de la tercera dimensión de los datos GPS, normalmente, no es tan grande como la precisión horizontal. La precisión del equipo GPS que se utilizó es de más menos diez metros, la cual para los fines de ubicación de clientes no tiene ningún impacto sobre el resultado final.

MapInfo Profesional (Pitney Bowes, 2016) es un SIG con potencialidades que permiten la visualización de datos geográficos, el análisis de esos datos y la impresión de mapas. El lenguaje de desarrollo ligado a este producto es Map Basic, que puede personalizar a MapInfo, integrarlo a otras aplicaciones y aumentar su potencialidad base. MapInfo permite realizar análisis elaborados y

gestión de bases de datos relacionales; por ejemplo, encontrar en un mapa una dirección, un código postal u otro elemento cualquiera, calcular distancias áreas o perímetros, crear o modificar mapas, etcétera, ya que puede trabajar con una gran variedad de datos. La creación de mapas y el análisis geográfico no son nuevos; sin embargo, los SIG transforman esas tareas más rápidamente que los viejos métodos manuales. Antes de la aparición de estos sistemas, sólo algunas personas tenían la habilidad necesaria para usar información geográfica con el fin de auxiliarse en la toma de decisiones y la solución a los problemas.

TransCAD (CALIPER, 2016) es un sistema de información geográfica (SIG) diseñado especialmente para profesionales de transporte con el objeto de almacenar, mostrar, y analizar datos de transporte. TransCAD, a diferencia de los demás paquetes informáticos de transporte, combina en una sola plataforma integrada las propiedades de un SIG y las capacidades de modelación del transporte. TransCAD puede usarse para todos los modos de transporte y a cualquier escala geográfica o nivel de detalle. TransCAD proporciona:

- Una poderosa plataforma SIG con extensiones específicas para modelos de transporte.
- Herramientas de análisis diseñadas para el transporte, mapeo y visualización.
- Aplicaciones para módulos de creación de rutas, previsión de la demanda de viajes, transporte público, logística y gestión del territorio

TransCAD es un SIG innovador que permite la creación y adaptación de mapas, construir y mantener bases de datos geográficos y realizar diferentes tipos de análisis espacial. TransCAD incluye sofisticadas características SIG como el diseño de polígonos, áreas de influencia de líneas, y geo codificación, y tiene una arquitectura de sistema abierto que permite el almacenamiento compartido de datos.

QGIS (QGIS, 2016) es un SIG de código libre y tienen la facilidad de la interconexión con otros SIG, el cual nos permite crear la matriz de distancias,

diseño de polígonos y nos permite visualizar la información geográfica que geocodificamos en diferentes tipos de cartografía.

Se puede conectar sus datos para representar en mapas características o ubicar datos utilizando direcciones o códigos postales, o simplemente señalando la localización correcta. En unos pocos pasos sencillos, se puede utilizar sus propios datos para colorear los Códigos Postales por ventas, o enseñar la ubicación de los clientes.

Una interfaz incorporada de acceso al Sistema de Posicionamiento Global (GPS) le permite mantener la trazabilidad y grabar su localización, y construir la base de datos geográfica mientras trabaja. Con un GPS y un portátil, el usuario en el campo puede crear archivos geográficos precisos de equipamientos públicos, de instalaciones y sedes corporativas, características geográficas, puntos de ventas, y muchos otros.

Solver (FRONTLINES, 2016), es un software desarrollado por la Empresa Frontlines, el cual resuelve modelos de optimización²¹ teniendo la facilidad de poderlos realizar en una hoja de cálculo de Excel, el modelo se desarrolla en esta hoja posteriormente este software se abre pudiendo seleccionar cada parte de la hoja como restricciones²² o función objetivo²³, de esta manera es posible resolver cualquier tipo de modelo, el algoritmo que se utiliza está determinado por el motor “Engine”, para este proyecto se utilizó el llamado Xpress, este se seleccionó debido a que no tiene restricciones en cuanto al número de variables de decisión²⁴ ni restricciones.

²¹ Un modelo de Optimización consiste en una función objetivo y un conjunto de restricciones en la forma de un sistema de ecuaciones o inecuaciones y son usados en casi todas las áreas de toma de decisiones.

²² Una restricción tiene como objetivo reducir el dominio de una función.

²³ Define la cantidad que se va a maximizar o minimizar, de un modelo de programación lineal.

²⁴ Conjunto de variables cuya magnitud deseamos determinar resolviendo el modelo de programación lineal.

3.2. Georeferenciación de clientes mediante el uso de un dispositivo GPS.

El primer paso para cualquier análisis de tipo espacial es contar con la información base georeferenciada (con coordenadas de ubicación) con la cual se va a trabajar, es decir debemos de tener la información con sus coordenadas de ubicación ya trasladadas a un sistema de información geográfica, para esto se les capacito a los vendedores en el uso de un equipo móvil con receptor GPS y se les indico que tomaran las coordenadas de todos sus clientes, el procedimiento que se utilizó fue el siguiente:

Requerimientos previos:

Antes de iniciar el procedimiento de levantamiento de puntos utilizando equipos móviles con receptor GPS se requirió tener lo siguiente:

1. Computadoras con procesador Core I3, 250 GB de espacio en disco duro, memoria RAM de 2 GB y sistema operativo Windows 7.
2. Se debió tener instalada en los equipos la cartografía correspondiente a la zona. Dicha cartografía deberá tener la información completa de municipios, colonias y vialidades.
3. Las computadoras tenían instalado al menos un Sistema de Información Geográfica: MapInfo, TransCAD o Qgis.
4. Antes de empezar se tuvieron los itinerarios de las rutas o el diario de ruta, perfectamente identificados por día y por ruta y que estos sean los mismos que utilicen el vendedor y el supervisor. Estos itinerarios debieron de estar en papel y en formato electrónico de hoja de cálculo. Estos tenían el número de ID que les asignó la Compañía con el fin que se puedan realizar algunos match posteriormente.

El procedimiento que se siguió en el levantamiento de las coordenadas de los puntos de venta fue el siguiente:

1. Se realizó un programa de capacitación para los vendedores en el cual, se les enseñó el manejo y cuidado del equipo GPS, este programa tiene una

duración de 1 hora y es en una sola sesión, se llevó a cabo en su lugar de trabajo para no afectar la operación.

2. A los vendedores se les proporcionó un listado con la secuencia de su ruta por día, este listado tenía el número de cliente. Los clientes de este listado eran los mismos que manejaban los supervisores y que estaban en el sistema.
3. El levantamiento de los puntos de ventas, con los equipos GPS, lo realizaron los vendedores a los cuales se les proporciono equipos, la forma en cómo se tomaron las coordenadas fue la siguiente: cada vez que visitó al cliente, afuera de su establecimiento oprimieron un botón del GPS grabando así sus coordenadas, en ese momento anotaron en su hoja de ruta el número consecutivo del cliente al cual pertenece el punto que grabaron en el equipo GPS, esto se muestra en la *figura 10*. Este número puede ser el que maneja la Compañía o se puede crear un número consecutivo, cabe señalar que se creó un número consecutivo mismo que se encontraba en su listado, de tal manera que se tenía una relación entre el cliente y las coordenadas que se grabaron en el equipo. Este punto es muy importante ya que en base a esta relación se conocieron las coordenadas de cada cliente. El tomar las coordenadas de cada cliente les tomará en promedio 30 segundos lo cual no afectó su operación.



Figura 10. Equipo GPS para obtener coordenadas de clientes. (EXPOKNEWS, 2014)

4. Una vez que se recorrió toda la ruta, al final del día se obtuvo la ubicación espacial de los puntos de venta de cada ruta para cada día a través de sus coordenadas de ubicación (latitud y longitud).

5. A la llegada al Centro de Distribución al siguiente día, los vendedores entregaban los equipos GPS al personal a cargo los cuales los conectaron a las computadoras y descargaban de los equipos las coordenadas de los puntos de venta para cada ruta por día. A los equipos GPS se le realizó un formateo a la memoria y estuvieron listos para utilizarse ese día, se les devolvieron a los vendedores para que ellos los usaran en sus próximas visitas, no es necesario contar con otros equipos para su cambio se pueden seguir utilizando los mismos.
6. Cuando el vendedor entregó los equipos y se bajó la información, el vendedor tuvo que validar con el personal que el número de puntos que está entregando corresponda al número de clientes que visitó y se verificó que los números que se le asignó en el equipo GPS correspondan a los de los listados de visita, es decir que no se hayan saltado ningún número o que no hayan tomado puntos de más o de menos. Esta revisión les tomó en promedio 3 minutos.

A partir de este momento, los siguientes procesos los realizo sin involucrar más a los vendedores de las rutas.

7. Las coordenadas obtenidas se relacionaron con la información del cliente como es su nombre, dirección, código postal, etc., y se geo codificarán en la cartografía con la ayuda del sistema de información geográfica.
8. Una vez geo codificados los puntos, se le pidió al sistema que nos proporcione la dirección en la cual están ubicados los puntos, tomando como base la cartografía, en este sistema solo geo codificamos los puntos y al correrlo, y de acuerdo al número de control que le asignemos al punto que en este caso será el número de cliente, nos proporcionó la dirección en la cual se encuentra ubicado cada punto. Esta dirección se comparó con la información del listado de la ruta del vendedor, estas dos debieron de ser iguales o muy parecidas, por cuestiones de nomenclatura, con lo cual se comprobó que el punto estuviera bien ubicado, este proceso se realizó después de que se bajó la información.

9. La validación se realizó comparando la ubicación del listado de la hoja de ruta del vendedor, en Excel, con la dirección que nos proporcionó el SIG.
10. En el caso de que veamos que un punto está fuera de la zona o que la dirección no coincidió se realizó la geo codificación con el sistema sobre la cartografía. En esta situación se valida la ubicación del cliente con el vendedor y en caso de que sea necesario se modifica en ese momento.
11. En el caso de que el vendedor haya visitado un cliente nuevo que no estuviera en su listado, se tomaron los datos en el formato mostrado en la *figura 11*, y se tomó su punto GPS, a este punto le asignó una letra en lugar del número de cliente, para así identificar los clientes nuevos, al llegar al Centro de Distribución se informó al personal sobre éste nuevo cliente y se les hizo entrega del formato con la información. El personal capturó esta información y se canalizó al área correspondiente para que fuera dado de alta.

Registro de clientes nuevos

		Folio.		
Fecha.		TARJETA MAESTRA		
	No. de Ruta	DE CLIENTE		
No. De Cliente		Centro de distribución		
Giro			Nombre de la tienda	
Calle		Entre calles		
Colonia o poblacion		Propietario		Referencia
Dependiente	Telefono	Hora de Visita	Dias de visita	\$
L () M () W () J () V () S () D ()		Tipo de display y órden		
Nombre del Vendedor Responsable				
Información del GPS				
_____ - _____				

Figura 11. Formato para registro de clientes nuevos.²⁵

12. En el caso de que un cliente haya cerrado y esté en el listado se tomó el punto GPS y se informó al personal sobre el cliente cerrado, el personal

²⁵ Formato creado y utilizado por la empresa en estudio.

proporcionará la información de los clientes cerrados al área correspondiente para que tome la decisión de eliminarlos del sistema.

Este procedimiento consiste solamente en actualizar de la ubicación espacial de los puntos de venta, será necesario posteriormente implementar un proceso similar que sirva para el mantenimiento de esta base de datos, de no realizarlo de manera inmediata en un periodo menor a tres meses se perderá la confiabilidad de la información. En el centro de distribución se georreferenciaron 7,831 clientes en 27 rutas, en la *tabla 2* se muestra la cantidad de clientes del centro de distribución y el porcentaje de los clientes con coordenada.

Cientes geocodificados	7,831	100%
Cientes por geocodificar	0	0%
Total	7,831	100%

Tabla 2. Registro de clientes georreferenciados.²⁶

El mapa de todos los clientes ya georreferenciados del Cedi La Villa se muestra en la *figura 12*.

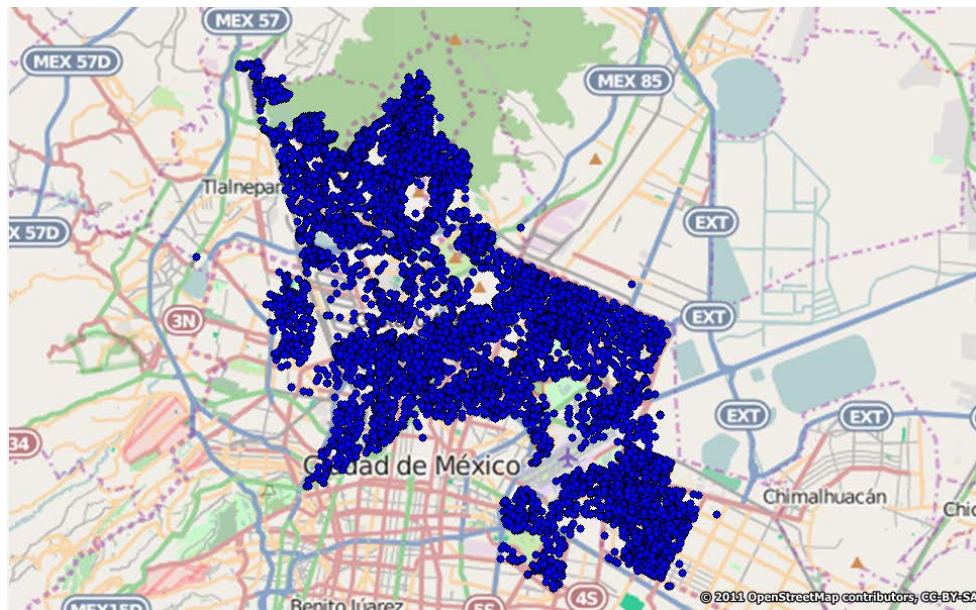


Figura 12. Mapa de clientes georreferenciados del Cedi La Villa.²⁷

²⁶ Elaboración propia.

²⁷ Elaboración propia.

En la *figura 13*, cada color muestra una ruta, como se puede ver hay rutas que no tienen un territorio definido y hay traslape entre ellas, a manera de comprobar esto se realizaron polígonos en torno a cada una de las áreas que cubre cada ruta, esto se muestra en la *figura 14*.

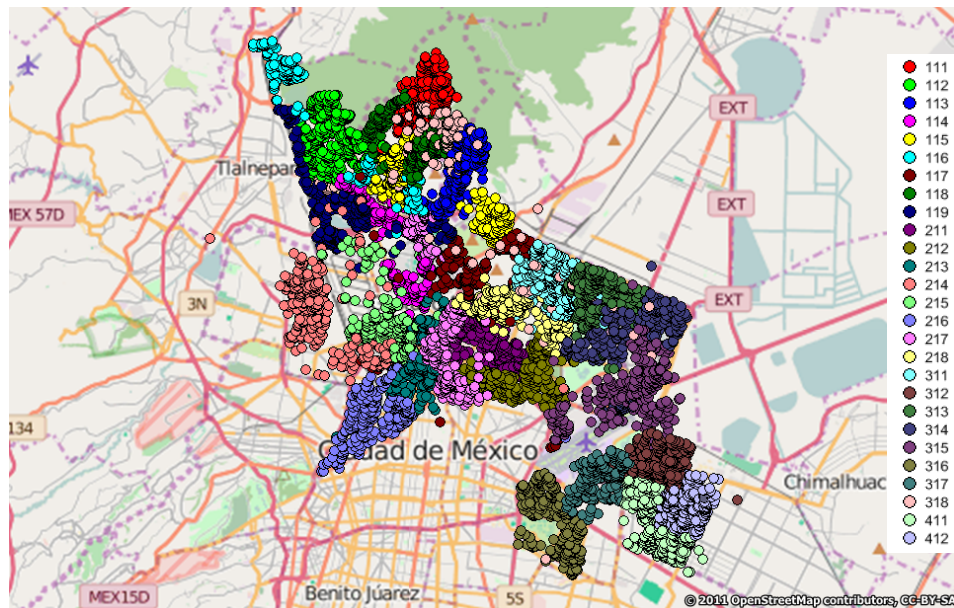


Figura 13. Mapa temático del Cedi La Villa, cada ruta inicial está representada con un color.²⁸

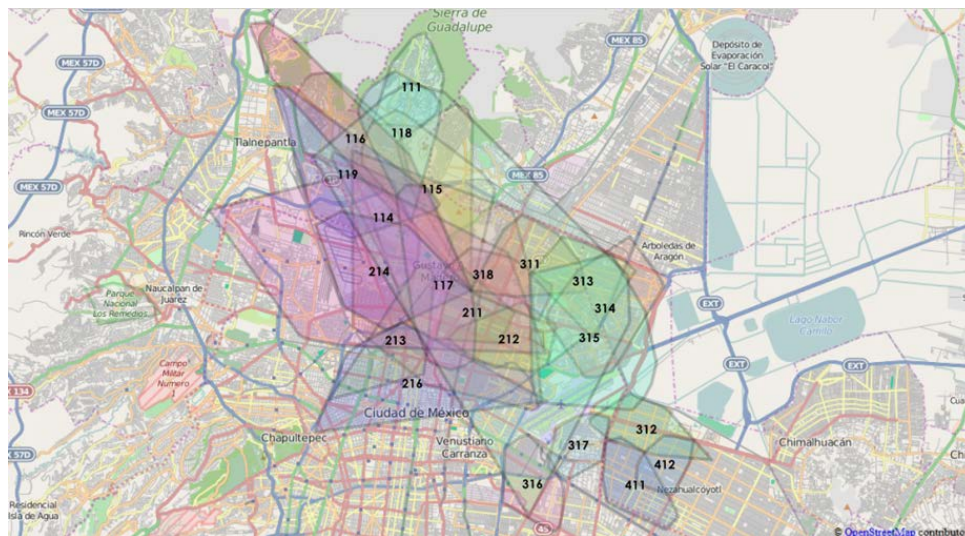


Figura 14. Territorios iniciales por ruta.²⁹

²⁸ Elaboración propia.

²⁹ Elaboración propia.

La información de clientes, frecuencias y venta se muestra en el *Tabla 3* de indicadores de venta y clientes por ruta, en la *figura 15* se muestra la cantidad de clientes que tiene cada ruta y en la *figura 16* se muestra la venta promedio semanal que se obtuvo del histórico de venta.

Acumulado promedio de Enero-Diciembre 2014

RUTA	CLIENTES	CLIENTES POR DIA	VENTA POR SEMANA	RUTA	CLIENTES	CLIENTES POR DIA	VENTA POR SEMANA
111	386	129	\$27,500	216	247	82	\$36,860
112	468	156	\$20,371	217	335	112	\$36,663
113	308	103	\$29,741	218	210	70	\$16,776
114	267	89	\$38,936	311	323	108	\$28,858
115	297	99	\$15,777	312	332	111	\$18,655
116	183	61	\$21,338	313	340	113	\$36,810
117	179	60	\$35,211	314	345	115	\$8,592
118	356	119	\$23,146	315	290	97	\$31,506
119	314	105	\$37,437	316	257	86	\$39,937
211	256	85	\$33,696	317	238	79	\$40,720
212	250	83	\$31,300	318	215	72	\$27,107
213	211	70	\$26,108	411	342	114	\$25,885
214	306	102	\$27,106	412	283	94	\$25,693
215	293	98	\$29,656	Total	7,831	2,610	\$771,387
				Promedio	290	97	\$28,570

Tabla 3. Rutas con clientes iniciales, visitas por día y venta semanal.³⁰



Figura 15. Clientes iniciales por ruta.³¹

³⁰ Elaboración propia.

³¹ Elaboración propia.



Figura 16. Venta inicial promedio.³²

3.3. Visualización de la información en el sistema de información geográfica.

Al realizar este proyecto es de suma importancia que cada ubicación de cliente tenga la información relativa a las ventas, esto es porque las variables que vamos a utilizar son dos: la distancia de cada cliente al centro de cada ruta y la venta, es decir, deberán de diseñar rutas compactas con distancias de recorrido cortas, pero con niveles de ventas equivalentes a los actuales esto con el fin de que no tenga efectos en sus comisiones y evitar problemas con los vendedores.

En el Centro de Distribución se utilizaron dispositivos móviles con receptor GPS, en los cuales cuando un vendedor visita a un cliente este registra su venta por producto en cantidad monetaria y en piezas, una vez que llega al Centro de Distribución el equipo se entrega a la gente de administración de ventas para que se descargue la información, generándose una base de datos por cliente con la venta del día.

Para el desarrollo del proyecto necesitamos la información de cada cliente geo referenciada, así que se obtuvo la venta promedio del mes de noviembre y se generó una base de datos, con una herramienta del programa MapInfo, se agregó la base de datos de ventas a los clientes ya geo referenciados, con esto se tuvo

³² Elaboración propia.

en el sistema de información geográfica la ubicación de cada cliente con su venta promedio por mes. En la *tabla 4*, se muestra la información que contiene cada cliente geo referenciado.

ID	ruta	nombre	direccion_completa	Longitud	Latitud
1	111	MISCELANEA CHAVEZ	Avenida Venustiano Carranza ,CUAUTEPEC DE MADERO 7200,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.136803	19.549999
2	111	ABARROTÉS LAS PRINCESAS	Calle 5 de Mayo #52,CUAUTEPEC DE MADERO 7200,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.140895	19.548865
3	111	MISCELANEA MECHE	Avenida Rosario #6,LOMA DE LA PALMA 7160,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.1399	19.551701
4	111	MISCELANEA ANITA	Calle Francisco Villa #51,CUAUTEPEC DE MADERO 7200,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.138779	19.552879
5	111	ABARROTÉS D TERÉ	Avenida San Miguel #11,SAN MIGUEL CUAUTEPEC 7100,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.136398	19.560499
6	111	ABARROTÉS LUPITA	Calle PeÁfÁzas Negras #84,SAN MIGUEL CUAUTEPEC 7100,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.137306	19.560886
7	111	MISCELANEA EL TÍO	Avenida La Palma ,LOMA DE LA PALMA 7160,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.14336	19.552401
8	111	MISCELANEA GABY	Calle Arroyo PeÁfÁza Gorda #42,CUAUTEPEC DE MADERO 7200,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.138325	19.549648
9	111	MISCELANEA REVOLUCION	Calle RubÁfÁn LeÁfÁzero #10,PALMATITLA 7088,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.1334	19.552601
10	111	MISCELANEA LA ESTRELLA	Calle RubÁfÁn LeÁfÁzero #6,PALMATITLA 7088,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.133698	19.5527
11	111	ABARROTÉS LA PASADITA	Calle Apango #32,LA CASILDA 7150,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.129967	19.555262
12	111	MISCELANEA LOS CACHORROS	Calle Apango #10,LA CASILDA 7150,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.129501	19.55367
13	111	MISCELANEA GUS	Primera Cerrada Venustiano Carranza #78,PALMATITLA 7088,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.136101	19.5541
14	111	MISCELANEA 3 ROSAS	Cerrada Mexillamalco ,PALMATITLA 7088,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.135902	19.552099
15	111	MISCELANEA LIBRA	Calle Luis Hidalgo #169,CUAUTEPEC DE MADERO 7200,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.136803	19.548901
16	111	COMERCIALIZADORA DE CERVEZA	Avenida Rosario #28,LOMA DE LA PALMA 7160,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.1418	19.5494
17	111	SAN JUDITAS	Calle Miguel Melendez #29,GENERAL FELIPE BERRIZABAL 7180,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.134521	19.55909
18	111	LA PLAZA	Andador Francisco Aguilar ,GENERAL FELIPE BERRIZABAL 7180,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.135605	19.55732
19	111	SUSY	Avenida Venustiano Carranza #94,PALMATITLA 7088,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.136497	19.55353
20	111	SAUNO	Calle 5 de Mayo ,CUAUTEPEC DE MADERO 7200,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.13942	19.548258
21	111	JULISA	5 DE MAYO,07200,GUSTAVO A MADERO,MEXICO	-99.142166	19.549435
22	111	CREM CID	Calle Francisco Villa ,LOMA DE LA PALMA 7160,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.138763	19.552996
23	111	ORLU	Calle Francisco Villa #51,PALMATITLA 7088,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.138176	19.553755
24	111	SOBRE LAS OLAS	Cerrada Segunda Francisco Villa #66,GENERAL FELIPE BERRIZABAL 7180,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.136459	19.55707
25	111	LA BLANQUITA	Calle Francisco Aguilar ,GENERAL FELIPE BERRIZABAL 7180,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.136299	19.557501
26	111	CARRBER	Avenida San Miguel #12,GENERAL FELIPE BERRIZABAL 7180,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.136169	19.561077
27	111	MINE	Calle Calvario #7,SAN ANTONIO 7130,Gustavo A. Madero,Distrito Federal,MÁFÁ@xico	-99.138056	19.559518

Tabla 4. Registro de la captura de clientes con los GPS.³³

3.4. Determinación del centroide de cada ruta y generación de matriz de distancias.

Una situación que se determinó como restricción en el planteamiento del proyecto, es que durante la reestructuración de las rutas se requería que las rutas se formaran en las zonas en las que se encuentran operando actualmente, esto es con el fin de que el vendedor no desconozca el territorio en su totalidad ni los clientes, para lograr esto la base de datos ya geo referenciada y con la información de sus ventas se exportó al software TransCAD, en este se creó una nueva capa en la cual se pusieron los centroides de cada ruta o las zonas en las cuales operan actualmente, como se muestra en el siguiente mapa de la *figura 17*. Se entiende por centroide el punto en el cual se concentra la mayor parte de los clientes en cuanto a número de estos.

³³ Elaboración propia.



Figura 17. Centroides de las rutas iniciales del Cedi La Villa.³⁴

Aquí se muestra el territorio actual de cada ruta y con un punto azul se marcó el centroide de cada ruta. Cada centroide se elaboro de acuerdo a donde se encuentra actualmente la mayor concentración de clientes.

Es importante señalar que se tiene la instrucción de realizar la apertura de 6 nuevas rutas, por lo que se deberá de identificar las posibles zonas para realizar los movimientos, de acuerdo a donde se visualice mayor concentración de clientes sin servicio y las zonas de oportunidad que identificamos, estas zonas las observaremos en la *figura 18*, es donde se propuso la apertura de éstas. Los clientes que se consideran para realizar este análisis, son clientes que no tienen el servicio por parte de la empresa y que se obtienen de un registro del DENUE en la categoría de comercio al por menor con la subcategoría de abarrotes y misceláneas.

³⁴ Elaboración propia.

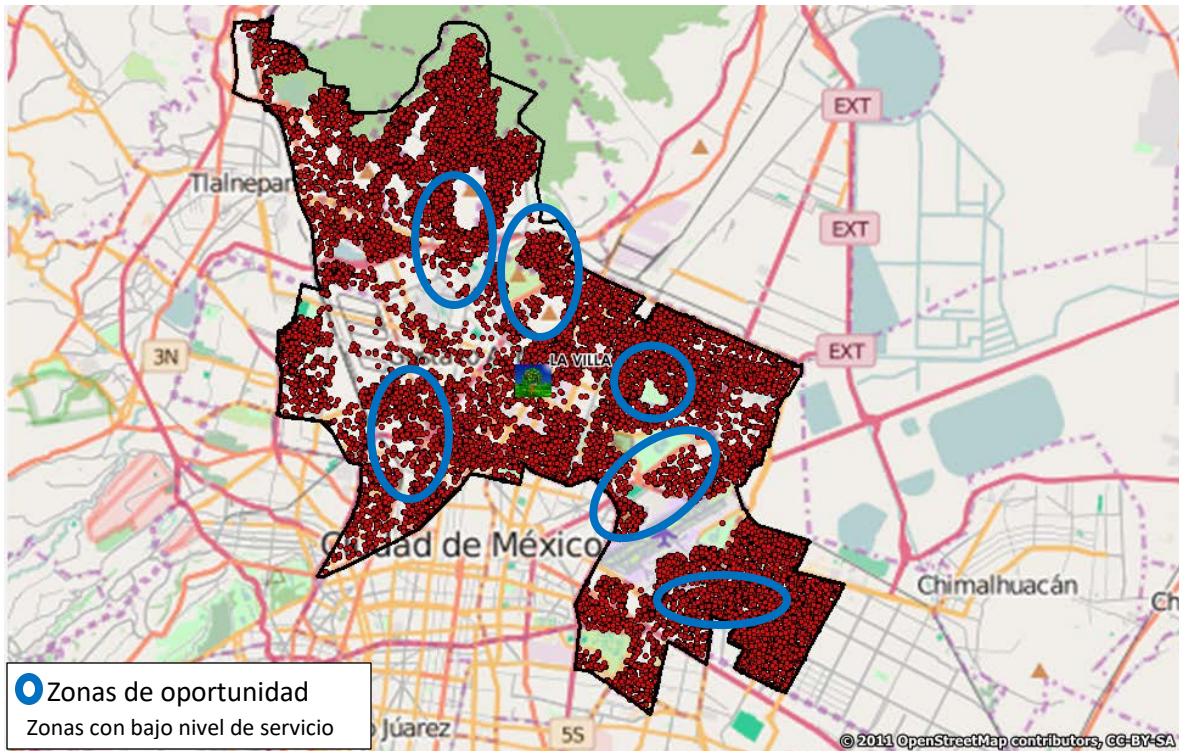


Figura 18. Zonas de oportunidad para la apertura de 6 rutas.³⁵

Una vez que se generó el centroide de cada ruta se determinó una matriz de distancias desde cada centroide hacia cada cliente, esto sobre la cartografía lo que nos proporciona distancias reales, esta se generó con el software TransCAD con la herramienta llamada “MATRIX COST”, ésta en el lado vertical tiene el número de cliente y en el lado horizontal el número de ruta y enlazados la distancia entre cada uno de estos. Esa matriz fue utilizada como indicador de costos en el modelo de programación lineal.

La suma de las distancias desde cada centroide a cada cliente con la asignación actual es de 8,261 kilómetros que se tomará como indicador de recorrido de la situación actual y servirá como parámetro de referencia de ahorro en costos. En la *tabla 5* y en la *figura 19* se muestran los kilómetros recorridos por ruta y en la *figura 20* podemos observar las distancias calculadas con los centroides.

³⁵ Elaboración propia.

RUTA	DISTANCIA INICIAL	RUTA	DISTANCIA INICIAL
111	294.3	216	254.9
112	392.2	217	374.4
113	272.2	218	173.3
114	301.8	311	219.4
115	398.2	312	207.6
116	288.2	313	294.3
117	332.4	314	470.7
118	339.0	315	310.4
119	552.4	316	232.5
211	226.8	317	196.7
212	209.8	318	518.3
213	213.1	411	297.5
214	381.2	412	212.1
215	298.0	TOTAL	8,261.5

Tabla 5. Distancias iniciales recorridas en promedio por ruta.

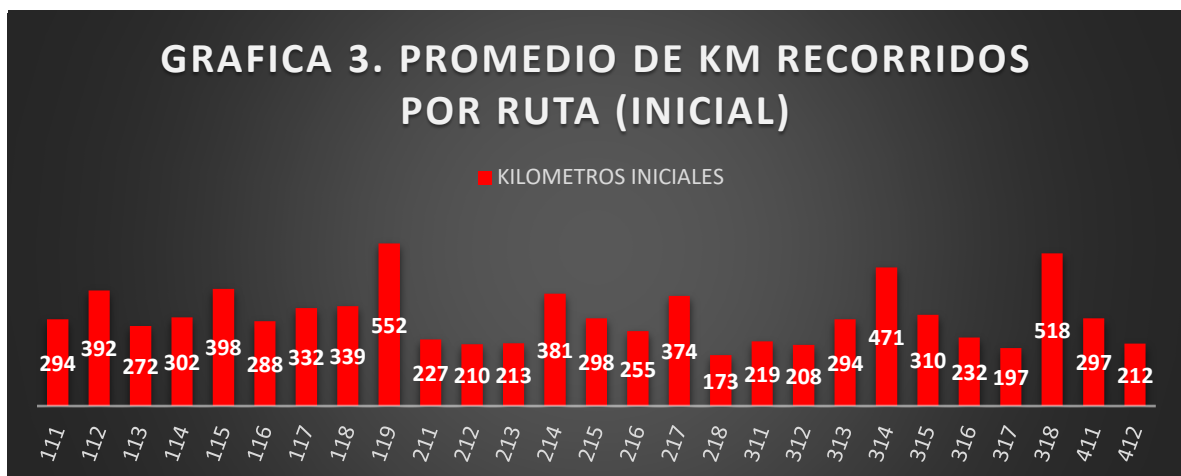


Figura 19. Kilómetros iniciales de recorrido por ruta semanales.³⁶

³⁶ Elaboración propia.

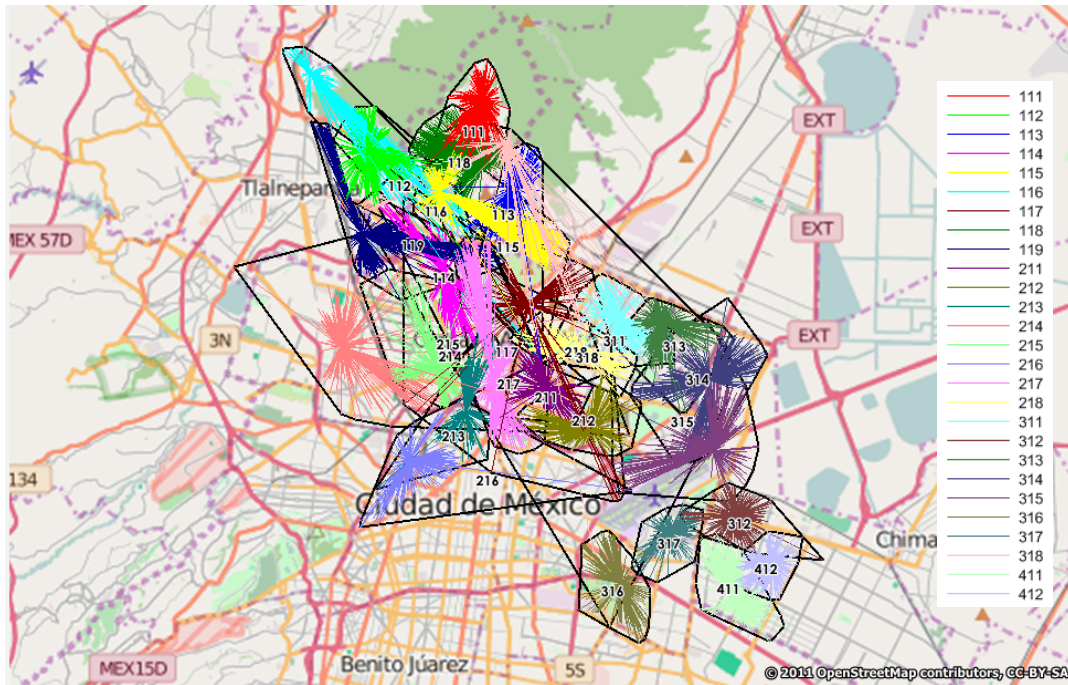


Figura 20. Distancias por ruta del centroide a los clientes.³⁷

3.5. Descripción del algoritmo de optimización.

El algoritmo diseñado para la resolución del problema se ha elaborado con dos objetivos, el primero es cumplir una restricción de unicidad, es decir, en el cual cada clientes será asignado a una sola ruta, con la finalidad de no tener un cliente atendido por dos rutas y el segundo objetivo es que la venta que tenemos como restricción no afecte la venta actual en más de un 10%, por lo que este modelo nos llevará a una solución confiable para lograr la rentabilidad de cada una de las rutas actuales, incluyendo las rutas que se van a abrir. El algoritmo está basado en un modelo de programación lineal cuyos parámetros son los siguientes:

Función Objetivo

$$\text{Min } Z \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^n x_{ji} y_{ji}$$

x= Distancia de cada cliente al centroide de cada ruta.

³⁷ Elaboración propia.

Al calcular las distancias de un cliente al centroide de cada ruta (x) obtenemos una matriz de distancias, esta se calcula con la ayuda de un sistema de información geográfica, el cual tiene una función para calcular la distancia entre dos puntos. Debido a la gran cantidad de información es necesario del apoyo de un SIG (Transcad), ya que nos tomaría mucho tiempo calcular la distancia de cada cliente. La matriz la obtenemos de transcad con la función matriz de distancias.

y= Asignación de un cliente a un centroide (número binario 0 -1).

Para que el modelo determine que cliente se asignara a una ruta se creó una matriz denominada, matriz variables de decisión, es decir, es el resultado del modelo y nos dirá que cliente se deberá de asignar a cada centroide o una determinada ruta (y), estos números deben de ser binarios, es decir deben de tener un valor de 0 o 1, si es uno se asigna ese cliente a esa ruta. Esta matriz se diseñó para evitar que un cliente se asigne en más de una ruta, no existe la posibilidad de que un cliente se asigne a dos rutas o más.

r= Número de clientes.

Se creó una columna que contiene todos y cada número de ID de cada cliente (r) o su identificador (no existe cliente con número repetido), este sirve para saber al final que cliente en específico se asigna a una determinada ruta. La columna de los clientes se utilizó para cada matriz que se elaboró en este modelo.

n= Número de centroides de las rutas.

Se creó una fila para colocar el número de las rutas que se optimizaron (n), es decir se colocó de la ruta 111 a la ruta 424, con la finalidad de obtener el resultado de cada ruta, esta fila también se utilizó para cada matriz que se elaboró en este modelo.

Variables de decisión

y_{ji} = Deben ser números binarios (0,1) y representan la asignación de cada cliente a un centroide de las rutas.

La matriz de las variables de decisión tienen como finalidad, mostrarnos el resultado y el resultado se obtiene mediante números binarios (0,1), si el resultado de la variable (y_{ji}) es uno nos dirá que ese cliente se debe de asignar a esa ruta.

Restricciones

1) Unidad

(Se asignarán un solo cliente a una ruta)

$$\sum_{i=1}^n y_{ij} = 1$$

n= Número de centroides de las rutas.

j= 1 hasta r (número de clientes).

Se debe de sumar cada fila de las variables de decisión de cada cliente y esa suma debe de ser igual a 1, esto garantiza que cada cliente se va a asignar a una sola ruta y que todos los clientes se van asignar.

2) Restricción de venta

La suma de la venta de los clientes asignados a una ruta debe de ser mayor que la venta mínima establecida, esto debido a especificaciones de productividad de la compañía.

$$\sum_{i=1}^n v_i * y_i \geq R_j$$

j= 1 hasta n, donde n es el número de las rutas.

R= es la venta mínima que debe de tener cada ruta, esta se fija de acuerdo a las condiciones de rentabilidad de la compañía.

V_i = Es la venta de cada uno de los clientes que se están asignando a las rutas.

Se creó una matriz que se nombró matriz de restricción de venta, en la cual se tiene el registro de venta con el histórico de un año de cada cliente (V_i) y se elaboró una matriz con la columna de clientes y la fila de rutas (j), esta matriz nos ayudara a identificar que cliente será asignar a que ruta que la cantidad en dinero que representa para la ruta y de esta manera R tiene como objetivo que la venta de cada ruta no se inferior o superior al 10% de la venta actual de la ruta.

Como ejemplo se va a multiplicar el valor de un cliente obtenido de la matriz de variables de decisión por la venta registrada (V_i), si la variable de decisión es igual a 1, entonces esa venta se va a acumular en la celda de la ruta (j) a la que le corresponde y la suma de todas las ventas de cada columna (j) deberá de ser menor a R que es el monto de la venta que debe de tener esa ruta.

3) Matriz de resultados:

Se creó una matriz que se nombró matriz de resultados, tiene como objetivo comparar el valor de la variable de decisión (y_{ji}), si esta es 1, entonces va a tomar el valor del encabezado de la matriz de la fila de la celda (j) y lo va a poner en su celda respectiva. Al final todas las filas correspondientes a cada cliente se van a CONCATENAR, con esto se obtiene el resultado de la asignación de cada cliente a cada ruta, este resultado lo podemos ver en la columna de la matriz de resultados.

3.6. Modelo de programación lineal para la formación de rutas.

La parte esencial del proyecto es la elaboración del modelo de programación lineal y su solución, el cual nos va a dar como resultado la nueva asignación de los clientes a cada ruta, de tal manera que las distancias recorridas sean mínimas (lo que hace que las rutas sean compactas) y que su venta no quede por debajo ni por arriba del 10% de su venta actual.

El modelo para su solución se utilizó una hoja de cálculo en Excel y se solucionó con el software Solver, describiré de manera detallada cada parte del modelo elaborado en Excel.

Parte 1: Matriz de distancias.

En la *tabla 6* se muestra la matriz de distancias de la columna A a la AH, en ésta en la parte vertical se muestra el número asignado a cada cliente va del 1 hasta 7,831 y en la horizontal se muestra la referencia las rutas que se están considerando en el modelo, es decir las rutas iniciales y las propuestas para crear

Parte 3. Función objetivo.

La función objetivo es minimizar la distancia entre todo el sistema, es decir, asignar cada cliente a una sola ruta, siempre y cuando esta ruta sea la más cercana, el producto de la matriz de distancias nos da un indicador del costo, el cual está considerando ciertas restricciones (venta y frecuencia de visita), para que el resultado obtenido sea el óptimo, esto se calculó utilizando la función de Excel "SUMAPRODUCTO" y ésta se encuentra en la casilla B7834. Ver en *Tabla 6*.

Parte 4. Restricción de asignación de un solo cliente a una sola ruta.

En la columna BR (*Tabla 7.*) se suman todas las variables de decisión de cada cliente, en la columna BT (*Tabla 7.*) se encuentra el número uno, aquí definimos la restricción que la suma de cada cliente deberá de ser igual al valor de uno con esto aseguramos que cada cliente sea asignado una sola vez a una ruta.

Parte 5. Restricción de venta.

En la *Tabla 8*. Observamos que de la columna DF a la EN tenemos la matriz de venta, en esta matriz tenemos en la fila 7,834 la suma de la venta de uno de los clientes dependiendo de la asignación que se la haya hecho a una determinada ruta. En la fila 7,837 tenemos la restricción de venta de cada ruta, esta restricción nos dice que se asigne cada cliente a cada ruta de tal manera que la distancia total sea mínima pero que también la suma de la venta de los clientes asignados no sobre pase o quede por debajo del 10% de su venta actual. El 10% de la afectación de la venta se calculó de acuerdo al histórico de venta que se obtuvo al inició del proyecto.

	BV	BW	BX	BV	BZ	CA	CB	CC	CD	CE	CF	CG	CH	CI	CJ	CK	CL	CM	CN	CO	CP	CQ	CR	CS	CT	CU	CV	CW	CX	CY	CZ	DA	DB	DC	DD	
1																																				
2	DESTINATIO	111	112	113	114	115	116	117	118	119	211	212	213	214	215	216	217	218	311	312	313	314	315	316	317	318	411	412	419	420	421	422	423	424	CONCATENA	
3		1																																		
4		2																																		
5		3																																		
6		4																																		
7		5																																		
8		6																																		
9		7																																		
10		8																																		
11		9																																		
12		10																																		
13		11																																		
14		12																																		
7823		7821																																		
7824		7822																																		
7825		7823																																		
7826		7824																																		
7827		7825																																		
7828		7826																																		
7829		7827																																		
7830		7828																																		
7831		7829																																		
7832		7830																																		
7833		7831																																		

Tabla 10. Matriz de resultados.⁴³

El resultado del modelo de programación lineal es la asignación de un cliente a una sola ruta de tal forma que los kilómetros recorridos por todo el sistema sean mínimos y que las rutas actuales en cuanto a venta no se vean afectados en más del 10 %, además que los tiempos de traslado y de venta se puedan lograr en una jornada de 8 horas.

⁴³ Elaboración propia.

Esta hoja se dejó en blanco de manera intencional

Capítulo 4. Resultados y conclusiones.

4.1. Resultados.

La solución del modelo (función objetivo) nos dio como resultado un recorrido de todo el sistema de: 5,257 kilómetros contra 8,261 kilómetros que teníamos originalmente, ahora tenemos un ahorro en kilómetros recorridos de 3,004 kilómetros lo que representa una disminución de un 36%. Esto lo podemos observar en la *figura 23*, cabe mencionar que en este ahorro ya se contemplan las 6 rutas nuevas que se abrieron en el Centro de Distribución.

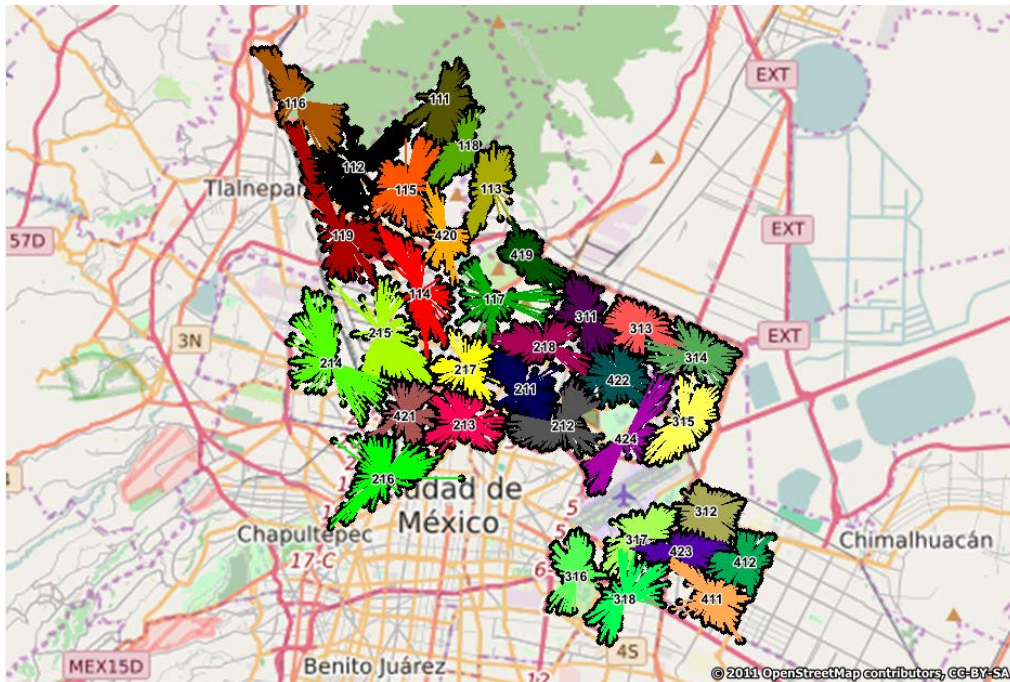


Figura 23. Distancias finales por ruta del centroide a los clientes.⁴⁴

En la tabla 11 se muestra el resultado de la asignación y de la columna DD vamos a obtener la asignación de la ruta para enviarlo a la base de datos inicial, esto lo llevaremos a cabo con la función “BUSCARV” en el Excel para relacionar cada uno de los clientes y una vez aplicada la función observaremos el resultado en la columna final de la *Tabla 12*, donde tenemos la información de todos los clientes, es decir, la base con la que empezó a trabajar.

⁴⁴ Elaboración propia.

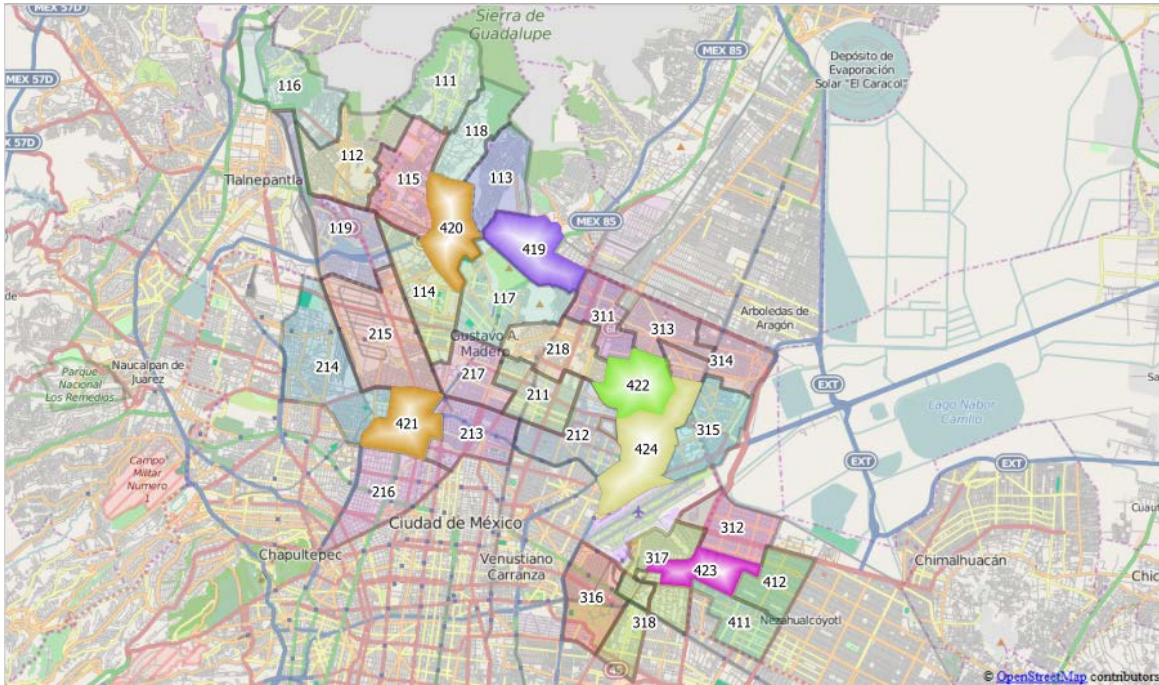


Figura 24. Situación final con las 6 rutas nuevas durante la reestructuración. (419, 420, 421, 422, 423, 424)⁴⁷

De acuerdo a los resultados obtenidos con la nueva asignación de los clientes a las rutas, se realizó un análisis para identificar los kilómetros finales por ruta y en la *Figura 25* se observa el resultado obtenido.



Figura 25. Kilómetros finales de recorrido por ruta semanales.⁴⁸

⁴⁷ Elaboración propia.

⁴⁸ Elaboración propia.

Se observa que los kilómetros han disminuido, pero también se realizó un análisis para identificar en una gráfica la cantidad de clientes asignados en cada ruta, se puede observar en la *Figura 26*, cabe señalar que no todas las rutas tienen la misma cantidad de clientes debido a que no en todas las zonas se encuentran cercano un cliente del otro, por lo que no se vende la misma cantidad de productos y en el *Figura 27* se muestra el promedio de venta con el que se quedó cada ruta.



Figura 26. Clientes finales por ruta.⁴⁹

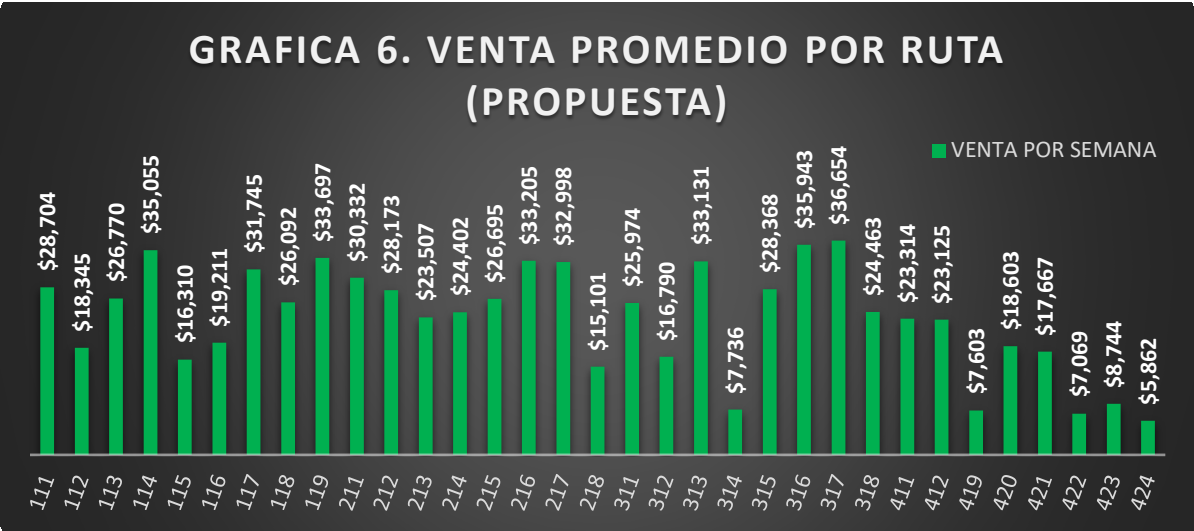


Figura 27. Venta final por ruta.⁵⁰

⁴⁹ Elaboración propia.

⁵⁰ Elaboración propia.

Para realizar la comparación a detalle del ahorro de en los costos de distribución, se tomó como base inicial los kilómetros promedio que recorrían las 27 rutas a la semana. Se dividieron los kilómetros de la preventa y de la entrega, ya que en la preventa se utiliza motocicletas y el consumo de combustible (Gasolina) es menor en comparación a la entrega, porque utilizan camiones y el consumo de combustible (Diésel) es mayor.

En la tabla 13, se observa el costo de combustible de los dos tipos de vehículos utilizados y el rendimiento por kilómetro para deducir el ahorro de las dos modalidades (Preventa – Entrega).

Vehículo	Combustible	Precio	Rendimiento	Costo x km
Camión	Diesel	\$14.20	4 km x L	\$3.55
Motocicleta	Gasolina	\$13.57	10 km x L	\$1.36

* Estimado oficial de la empresa

Tabla 13. Relación de rendimiento de combustible.⁵¹

En la tabla 14, se observan los kilómetros recorridos en la preventa y entrega en relación al costo que le representa a la empresa, cabe señalar que este registro corresponde a los kilómetros que realizaban las rutas antes de la implementación de la optimización de las rutas.

Registro Inicial kilometros			
Preventa	3,304	Costo	\$4,484.07
Entrega	4,957	Costo	\$17,595.93
Total	8,261	Total	\$22,080.00

Tabla 14. Registro del costo de los kilómetros iniciales por preventa y entrega.⁵²

En la tabla 15, se observan los kilómetros que recorren en la preventa y entrega, después de la implementación de la optimización de rutas.

Registro Actual kilometros			
Preventa	2,103	Costo	\$2,853.71
Entrega	3,154	Costo	\$11,198.23
Total	5,257	Total	\$14,051.94

Tabla 15. Registro del costo de los kilómetros actuales por preventa y entrega.⁵³

⁵¹ Elaboración propia.

⁵² Elaboración propia.

En la tabla 16, observamos el comparativo de los kilómetros iniciales vs los kilómetros actuales, los costos y los ahorros logrados en kilómetros y combustible con la optimización de las rutas de distribución.

Registro Inicial vs Actual			
Km Iniciales	8,261	Costo km Iniciales	\$22,080.00
Km Actuales	5,257	Costo km Actuales	\$14,051.94
Diferencia	3,004	Diferencia	\$8,028.06
Ahorro	36%	Ahorro	36%

Tabla 16. Comparativo de las distancias por ruta.⁵⁴

Se realizó una comparación para observar los kilómetros iniciales vs los kilómetros finales, en una gráfica y el resultado fue evidente con la nueva asignación de territorios logramos reducir los kilómetros en un 36% se puede observar en la *figura 28*, incluso ya se están considerando las 6 rutas nuevas.

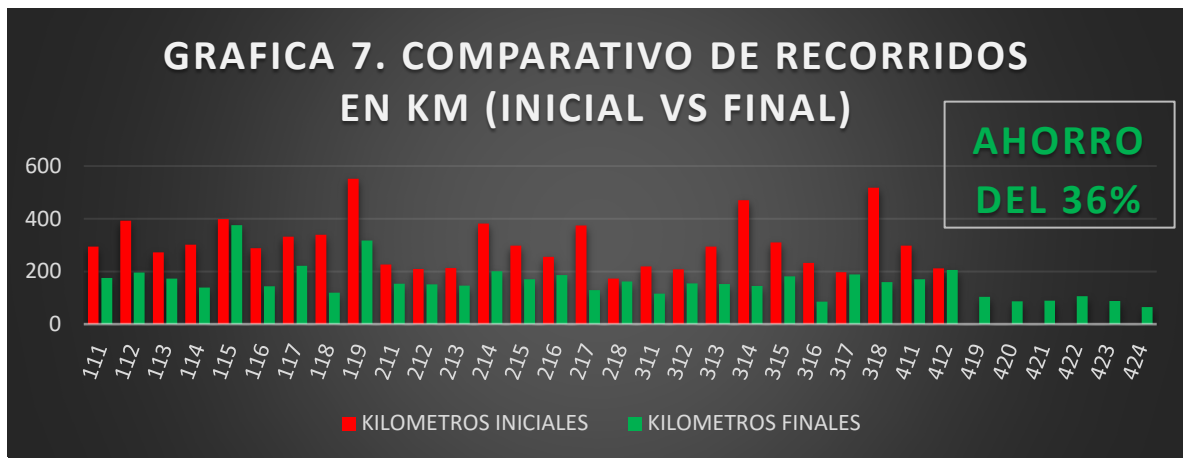


Figura 28. Comparativo de las distancias por ruta.⁵⁵

Si comparamos la situación actual con la ya reestructurada se observa que ahora tenemos rutas compactas y con territorio definido. Esta comparación la podemos observar en la *figura 29* que se muestra a continuación.

⁵³ Elaboración propia.

⁵⁴ Elaboración propia.

⁵⁵ Elaboración propia.

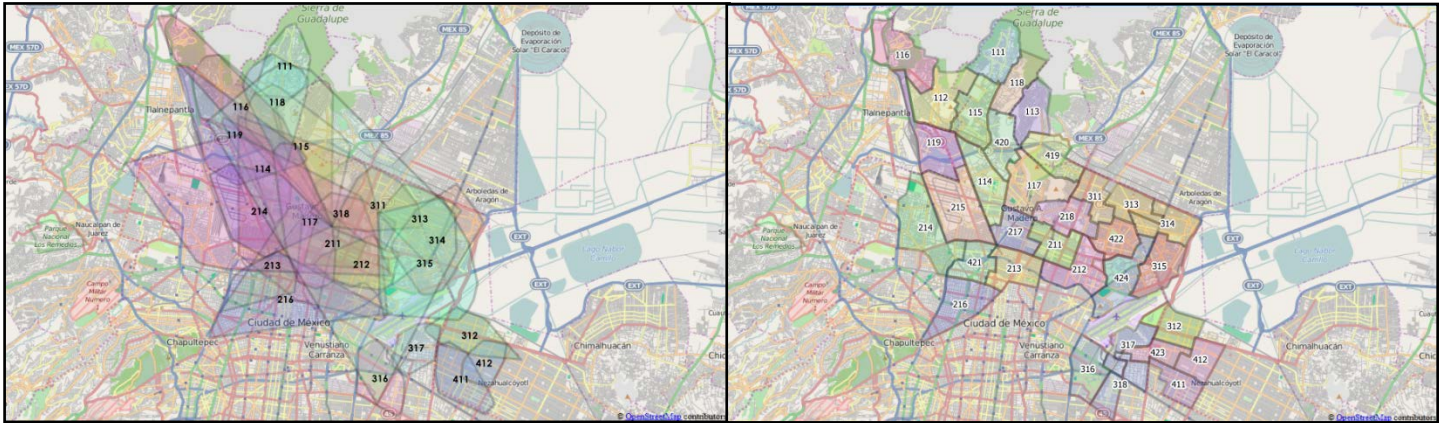


Figura 29. Comparación de la situación inicial (izquierda) vs situación final (derecha).⁵⁶

La tabla de resultados de la situación actual contra la propuesta se muestra en la *tabla 17*, en la cual se muestra que la nueva asignación tiene una diferencia de venta el 10% menor en algunas rutas y en la *tabla 18*, se observa que ninguna ruta queda por debajo de la restricción, es decir, de su venta actual y tiene posibilidades de captar más clientes para hacer crecer el Centro de Distribución en ventas en un 9%.

⁵⁶ Elaboración propia.

RUTA	CLIENTES INICIALES	VENTA INICIAL POR SEMANA	CLIENTES FINALES	VENTA FINAL	RUTA	CLIENTES INICIALES	VENTA INICIAL POR SEMANA	CLIENTES FINALES	VENTA FINAL
111	386	\$27,500	437	\$34,208	311	323	\$28,858	326	\$29,590
112	468	\$20,371	478	\$23,641	312	332	\$18,655	348	\$21,094
113	308	\$29,741	290	\$31,202	313	340	\$36,810	362	\$36,827
114	267	\$38,936	209	\$36,239	314	345	\$8,592	282	\$12,312
115	297	\$15,777	366	\$19,638	315	290	\$31,506	280	\$31,920
116	183	\$21,338	303	\$22,939	316	257	\$39,937	214	\$39,191
117	179	\$35,211	186	\$35,185	317	238	\$40,720	258	\$39,742
118	356	\$23,146	416	\$31,116	318	215	\$27,107	161	\$28,879
119	314	\$37,437	386	\$37,585	411	342	\$25,885	351	\$27,938
211	256	\$33,696	245	\$32,108	412	283	\$25,693	322	\$28,501
212	250	\$31,300	300	\$32,573	419	0		190	\$10,563
213	211	\$26,108	275	\$26,947	420	0		264	\$22,395
214	306	\$27,106	318	\$30,946	421	0		297	\$20,355
215	293	\$29,656	179	\$30,247	422	0		243	\$10,813
216	247	\$36,860	288	\$38,645	423	0		193	\$11,672
217	335	\$36,663	304	\$34,422	424	0		119	\$8,710
218	210	\$16,776	215	\$19,037	TOTAL	7,831	\$771,387	9,403	\$897,179

Tabla 17. Comparación de la situación inicial vs situación final.⁵⁷

RUTA	COMPARACIÓN DE CLIENTES	%	COMPARACIÓN DE VENTA	%	RUTA	COMPARACIÓN DE CLIENTES	%	COMPARACIÓN DE VENTA	%
111	51	13%	\$6,708	24%	311	3	1%	\$732	3%
112	10	2%	\$3,270	16%	312	16	5%	\$2,440	13%
113	-18	-6%	\$1,461	5%	313	22	7%	\$16	0%
114	-58	-22%	-\$2,698	-7%	314	-63	-18%	\$3,721	43%
115	69	23%	\$3,861	24%	315	-10	-3%	\$414	1%
116	120	65%	\$1,601	8%	316	-43	-17%	-\$746	-2%
117	7	4%	-\$26	0%	317	20	8%	-\$978	-2%
118	60	17%	\$7,970	34%	318	-54	-25%	\$1,772	7%
119	72	23%	\$149	0%	411	9	3%	\$2,053	8%
211	-11	-4%	-\$1,589	-5%	412	39	14%	\$2,808	11%
212	50	20%	\$1,273	4%	419	190		\$10,563	
213	64	30%	\$839	3%	420	264		\$22,395	
214	12	4%	\$3,839	14%	421	297		\$20,355	
215	-114	-39%	\$591	2%	422	243		\$10,813	
216	41	17%	\$1,785	5%	423	193		\$11,672	
217	-31	-9%	-\$2,241	-6%	424	119		\$8,710	
218	5	2%	\$2,261	13%	TOTAL	1572	20%	\$125,792	16%

Tabla 18. Diferencia de situación inicial vs situación final⁵⁸

⁵⁷ Elaboración propia.

⁵⁸ Elaboración propia.

Finalmente se lograron los resultados esperados, como se podrá observar en las gráficas de las *figuras 30 y 31*, muestra el comparativo de la venta y de los clientes que tienen cada una de las rutas, también observamos que ninguna de las rutas se afectó en menos de un 10% de la venta que tenían en promedio inicialmente. Cabe mencionar que en ambas graficas se comprueba dos puntos mencionados en la hipótesis. Incremento de clientes en un 10% superado con 10 puntos porcentuales y el incremento de venta en un 10% de la venta actual está superado con 6 puntos porcentuales.



Figura 30. Comparativo de clientes.⁵⁹



Figura 31. Comparativo de venta.⁶⁰

⁵⁹ Elaboración propia.

⁶⁰ Elaboración propia.

Incluso se observa en la figura 32, que los territorios quedaron definidos y que se logró realizar la apertura de las 6 rutas que nos habían solicitado y solo es cuestión de que los supervisores trabajen en conjunto con los vendedores para que rutas logren incrementar la venta en los nuevos territorios, es importante señalar que cada una de las rutas tiene como objetivo cubrir el 20% de sus clientes prospectos y en su mayoría lo han logrado, aun así, todas rutas deberán por cubrir todo el territorio que sea posible para aumentar la cobertura del territorio que tienen asignado.

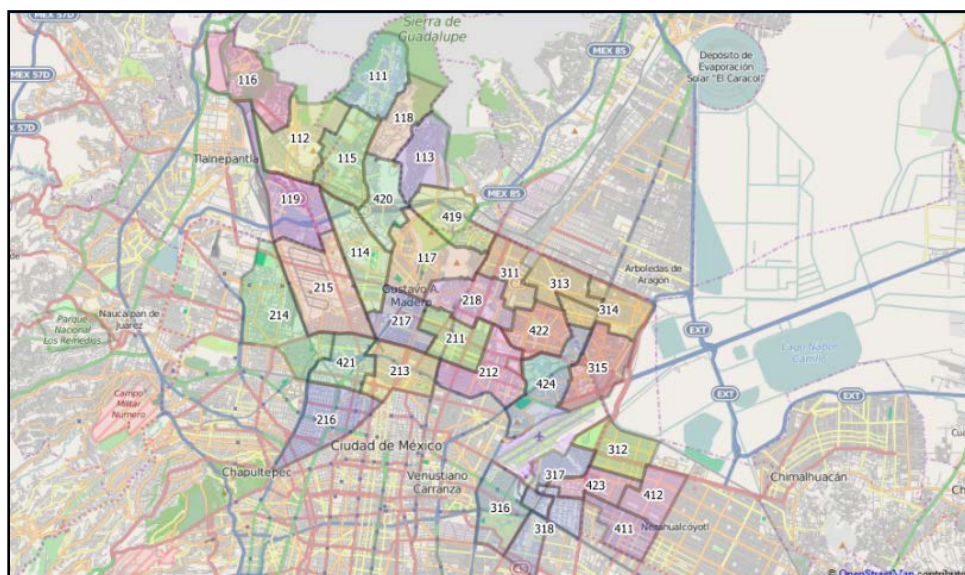


Figura 32. Territorios definidos y sin traslapes.⁶¹

A pesar de incrementar el número de los clientes con servicio las distancias de recorrido continúan siendo menores a lo que hacían inicialmente, ya que con esta modificación que sufrieron las rutas evitamos que las rutas se vuelvan a pelear por los clientes que se encuentran en zonas muy alejadas de su mayor concentración, incluso hemos notado que la mayoría de las rutas están regresando con menos cantidad de rechazo de pedidos y sus comisión han incrementado, por lo que los vendedores, supervisores y el jefe de ventas están satisfechos con los resultados obtenidos.

⁶¹ Elaboración propia.

4.2 Elaboración de territorios por día de Preventa-Entrega.

Para la definición de los días de preventa en el Centro de Distribución, se realizó de forma manual, se tomó la decisión de utilizar las frecuencias iniciales de los clientes para dividir los territorios de cada ruta en tres partes, debemos recordar que las rutas salen 3 días a prevenir y 3 días salen a repartir lo que prevendieron, y donde se tuviera la mayor concentración de clientes con el mismo día se designaba a que día de la semana pertenecía el territorio. En las *figuras 21* y *22*, se observa cómo se definieron los territorios por vialidades para evitar que el mismo vendedor atienda zonas que no les corresponden y se vuelva nuevamente a tener traslapes.

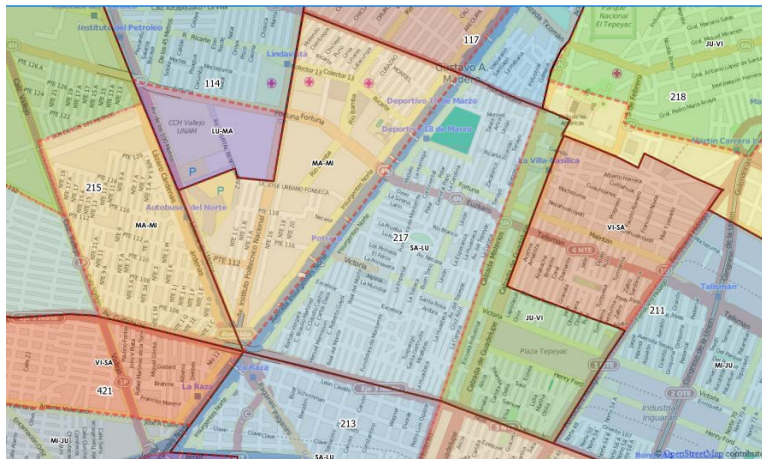


Figura 21. Delimitación de territorios de visita semanal por vialidades, de acuerdo a la venta y número de clientes.⁶²

⁶² Elaboración propia.

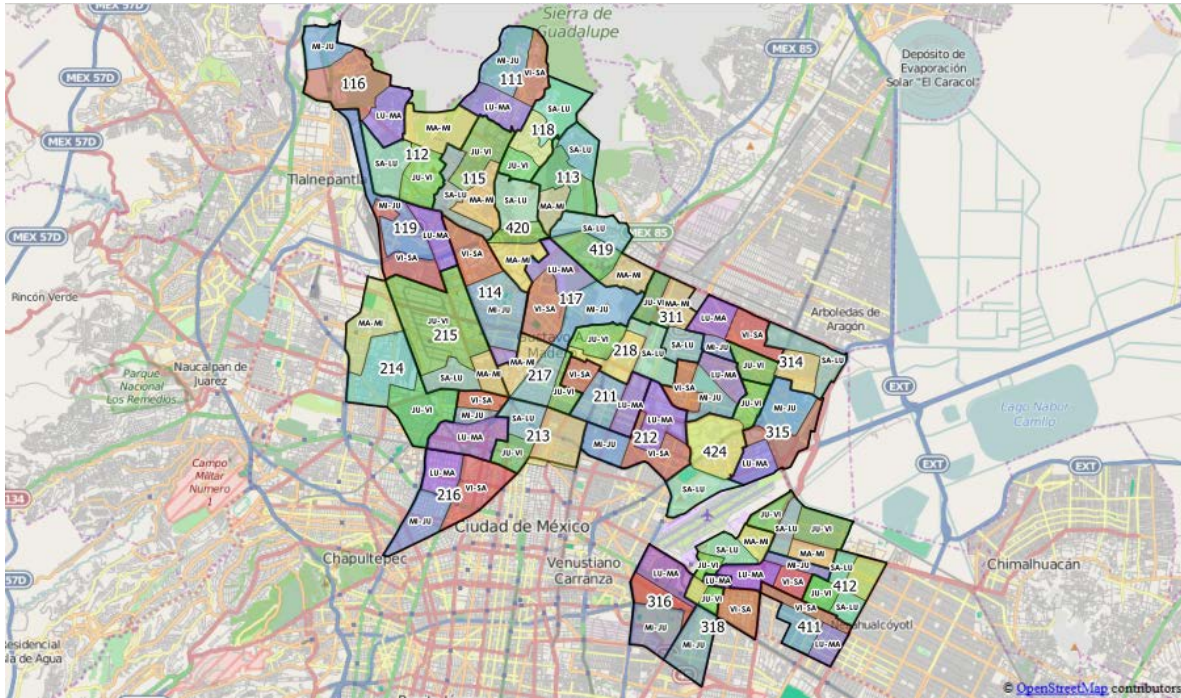


Figura 22. Asignación de visitas por ruta de acuerdo a su rol de liquidación. (LU-MA, MI-JU, VI-SA o SA-LU, MA-MI, JU-VI).⁶³

Es importante mencionar que para la asignación de frecuencias también se puede emplear el modelo de programación lineal, pero en el modelo que se trabajó no se consideró la propuesta de implementación debido a que los rutas conservaron sus clientes en más de un 60% y solo fue necesario realizar un ajuste de clientes para que las delimitaciones se realizaran lo más precisas posibles de acuerdo a las vialidades y respetando las restricciones que se colocaron para la resolución del modelo.

4.3. Conclusiones.

Al final de este trabajo y con base en los resultados obtenidos podemos concluir los siguientes puntos:

- a. El uso de tecnologías inteligentes de transporte como los sistemas de información geográfica y los modelos de optimización espacial son la mejor herramienta para el diseño de redes de distribución ya que nos proporcionan las siguientes ventajas:

⁶³ Elaboración propia.

- i. Se reducen los tiempos de diseño e implementación en por lo menos un 50 %, de 6 meses de reestructura (Supervisores, Gerente y Analista) vs 3 meses de reestructura (Presente proyecto.)
 - ii. Los resultados obtenidos en los ahorros de la distribución e incremento de servicio comprobaron la hipótesis.
 - iii. Nos permite tener las bases de los clientes georeferenciadas y actualizadas en todo momento.
 - iv. Nos da una visión actual de la situación de un proceso de distribución, así como también nos permite poder simular escenarios futuros.
- b. El diseño de la nueva configuración de las rutas del Centro de Distribución llamado de La Villa le permitió a la empresa procesadora de jugos obtener los siguientes beneficios:
- i. Tener rutas compactas, con un territorio definido y libres de traslapes con otras.
 - ii. Reducir sus costos de distribución en por lo menos un 10 %.
 - iii. Incrementar su participación de mercado en por lo menos un 10 % al tener 6 rutas adicionales.
 - iv. Reducir sus tiempos de traslado en por lo menos un 10 %.
 - v. Colocar sus productos en por lo menos el 70 % de sus clientes objetivo específicos.

De acuerdo a los resultados obtenidos previamente podemos decir que se ha validado la hipótesis planteada, así como también se han logrado los objetivos planteados al principio de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA.

- (1). Álvarez, M.D. (2007). Factors that affect the quality of the niowaste fraction of selectively collect solid waste in Catalonia. Barcelona: Waste Management.
- (2). Ayala J. (2012). Fundamentos Institucionales del Mercado. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- (3). Baca G. (2006). Formulación y evaluación de proyectos informáticos. México: Mc Graw Hill.
- (4). CALIPER. (2016). www.caliper.com
- (5). COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS. (2008), Libro Verde los Sistemas Inteligentes de Transportes.
- (6). Comas D. & Ruiz E. (1993). Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica. Barcelona España: Ariel Geografía.
- (7). Correa, Andrés F. (2008). Características del diseño de rutas de distribución de alimentos en el Valle de Aburrá. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, N.º 45, 1.
- (8). DENUE (2016). Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/denue/>
- (9). DESAYNOS CSCMP, [Citado Mayo 2015], disponible: <http://www.cscmpmexico.com.mx/masivos/index.html>
- (10). Desde 2008 el precio de la gasolina ha aumentado 45%, salario mínimo solo 23%, [Citado Mayo, 2015], disponible: <http://yosoyred.com/2013/03/cuanto-ha-subido-el-precio-de-la-gasolina-y-cuanto-el-salario-minimo-en-mexico/>

- (11). EXPOKNEWS (2014). www.expoknews.com
- (12). FONDO SOCIAL EUROPEO UNION EUROPEA. (2009). Vigilancia tecnológica: Técnicas para la Optimización de Rutas de Transporte y Distribución.
- (13). FRONTLINES. (2016). www.solver.com
- (14). GESTION DE OPERACIONES (2015). [en línea], disponible: <http://www.gestiondeoperaciones.net/wp-content/uploads/2015/06/diagrama-red-logistica.gif>
- (15). GISTOP. (2016). www.gistop.com.mx
- (16). González, J.S. & Cáceres, G. (2013). Comparison of GIS Desktop Tools for Development of SIGPOT. España: IEEE Latin America Transactions.
- (17). Guerra, G. & Lewis J. (2013). Spatial Optimization and GIS. [Http://www.esri.com/news/arcuser/0402/files/optimize.pdf](http://www.esri.com/news/arcuser/0402/files/optimize.pdf).: ESRI.
- (18). GUROBI. (2016). www.gurobi.com
- (19). Haining, R. (2005). Spatial Data Analysis, Theory and Practice. United Kingdom: Cambridge.
- (20). Hernández J., Un canal eficiente para distribución de perecederos, Énfasis Logística México y Centroamérica, [citado Abril, 2015], disponible en: <http://www.logisticamx.enfasis.com/notas/3782-un-canal-eficiente-distribucion-perecederos>
- (21). INFORMS. (2006). www.informs.org
- (22). INSTITUTO DE GEOGRAFÍA DE LA UNAM (2006). Apuntes de Diplomado en Geomática, México, D.F., Abril a Noviembre.
- (23). Jeannot, F. (2004). La Empresa, Teorías Económicas y Realidades.

México: Grupo Editorial Miguel Ángel Porrúa y Universidad Autónoma Metropolitana.

- (24). Kimerling A. & Guptill S. (2012). Elements of Cartography. USA: Wiley Editions.
- (25). Loshin D. (2003). Business Intelligence. The Savy Manager's Guide. USA: Morgan Kaufmann Publishers.
- (26). MAPINFO. (2016). www.mapinfo.com
- (27). Mercado S. (2004). Mercadotecnia Programada. México: Limusa.
- (28). MONTERO. (2000). Problemas de ruteo vehicular en la recolección y distribución óptimas de cargas. Instituto Mexicano de Transporte, Publicación técnica, No. 44, 1.
- (29). ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN. (1987). Norma ISO 690, Documentación y Referencias Bibliográficas, 12ª Edición.
- (30). PARTYKA. (2015). Vehicle Routing Software Survey. [Http://www.orms-today.org/surveys/Vehicle_Routing/vrss.html](http://www.orms-today.org/surveys/Vehicle_Routing/vrss.html).: Institute for Operations Research and Management Science.
- (31). QGIS. (2016). www.qgis.org
- (32). Rojas M., Guisao E. & Cano J. (2004). Logística Integral. Bogotá: Ediciones de la U.
- (33). Shabenberger O. & Gotway C. (2005). Stastical Methods for Spatial Analysis. London: Chapman & Hall / CRC.
- (34). Shapiro J. (2001). Modeling the Supply Chain. USA: Duxbury Editions.
- (35). SLIDESHARE. (2016). es.slideshare.net
- (36). Soto D., Soto W. & Pizón. (2008). Una meta heurística híbrida

aplicada a un problema de planificación de rutas. Avances en Sistemas e Informática, Vol. 5, número 3, Diciembre, 2008., 1.

- (37). UNI SOLUTIONS. (2016), <http://www.unisolutions.com.ar/>
- (38). UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO Y LA ASOCIACIÓN GVSIG, 1as Jornadas Mexicanas de gvSig, [citado Mayo 2014], disponible en:
<http://www.gvsig.org/plone/community/events/jornadas-mexico/2014/ponencias>
- (39). Urzúa C. (2002). Ejercicios de teoría macroeconómica. México: El Colegio de México.