

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PLAN DE DESPACHO PARA LA DISTRIBUCIÓN DE AYUDA HUMANITARIA EN CASO DE UN TERREMOTO DE GRAN MAGNITUD EN LIMA METROPOLITANA Y CALLAO

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Industrial**, que presenta el bachiller:

Rafael Avelino Alva Cabrera

ASESOR: Jorge Vargas Florez

Lima, Noviembre de 2014

RESUMEN

El presente estudio es un trabajo aplicativo de un problema de ruteo de vehículos estrechamente relacionado a la problemática surgida en la logística humanitaria. Este problema radica en cómo realizar la entrega de la ayuda desde los centros de abastecimiento hasta los puntos de acopio en los distritos de Lima Metropolitana y el Callao, al ser afectados por un terremoto de elevada intensidad. Se desarrollaron las rutas adecuadas para llegar a los centros de acopio de ayuda humanitaria pre-establecidos por INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil) teniendo en cuenta además la necesidad de realizar dicha entrega de una manera ágil y eficiente y recorrer las menores distancias obteniendo de esta forma un mejor tiempo de respuesta satisfaciendo toda la demanda, representada en este caso por los damnificados a asistir.

Para lograr las mejores características planteadas en la entrega, primero se realizó el mapeo de dichos puntos de acopio tomando en cuenta los almacenes de insumos médicos para luego resolver el problema con la aplicación de diversos métodos heurísticos como el de Cercanía de Puntos, Sweep o Barrido, Gran Ruta aplicando posteriormente el Método del Ahorro y Programación Lineal y el de Clasificación Ascendente Jerárquica; éste último considera diversos factores como la vulnerabilidad socioeconómica, vulnerabilidad por mala accesibilidad, la vulnerabilidad por la exposición a peligros y la cercanía de los puntos de acopio respecto al almacén central que los abastece para la creación de los clusters. En segundo lugar, una vez concluidas todas las propuestas se toma una decisión acerca de cuál sería el mejor modelo a seguir para la resolución de este VRP (Vehicle Routing Problem) basado en las distancias recorridas por el transporte hacia cada uno de los puntos que conforman las clusters establecidas; en este caso de estudio, el método Gran Ruta - Programación Lineal se perfila como el más adecuado al tener la menor distancia real recorrida y menor costo de transporte. También se consideró la cantidad de damnificados a asistir y se determinó la cantidad de recursos empleados por cada viaje de la flota vehicular terrestre. Por último se indican las conclusiones y recomendaciones que se deberían tener en cuenta para la implementación de un sistema de atención de desastres basado en la elección de la mejor ruta de abastecimiento.

TEMA DE TESIS

PARA OPTAR : Título de Ingeniero Industrial

ALUMNO : **RAFAEL AVELINO ALVA CABRERA**

CÓDIGO : 2007.7233.5

PROPUESTO POR : Ing. Jorge Vargas Florez

ASESOR : Ing. Jorge Vargas Florez

TEMA : PLAN DE DESPACHO PARA LA DISTRIBUCIÓN DE AYUDA HUMANITARIA EN CASO DE UN TERREMOTO DE GRAN MAGNITUD EN LIMA METROPOLITANA Y CALLAO

No. TEMA :

FECHA : 20 de enero de 2014

JUSTIFICACIÓN:

Según Wijkman y Timberlake (1985:23), los desastres naturales son eventos que hacen referencia a las enormes pérdidas humanas y materiales, otras definiciones como las de Cuny (1983:40) afirman que los efectos de un desastre podrían amplificarse si es que existe una mala planeación de los asentamientos humanos, escasas medidas de seguridad, deficientes planes de emergencia y sistemas de alerta, en resumen una mala preparación de los gobiernos para enfrentar estos acontecimientos. Por esto, es necesario actuar con rapidez y eficiencia para evitar que los acontecimientos posteriores a una catástrofe afecten a más personas.

En el Perú, durante los años 2007 - 2011, los desastres naturales más comunes y que presentan la mayor proporción de daños personales según el Resumen de Daños y Emergencias 2007 – 2011 a Nivel Nacional elaborado por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) han sido: las heladas (44 %), los huaycos (6 %), las inundaciones (26 %), los sismos (22 %) y las sequías (2 %)

La Logística Humanitaria, definida por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) en su Manual para el Manejo Logístico de Suministros Humanitarios (2000), como la especializada en la organización de la entrega y almacenamiento de los

suministros, de los medios de transporte a las zonas afectadas, del socorro de los damnificados y de la asignación del personal humanitario, juega un papel protagónico ante estos acontecimientos.

Dante A. Disparte, autor de obras como “The Postman’s Parallel” y Gerente General del Grupo Kjaer A/S, una empresa de clase mundial dedicada a la distribución de automóviles a las grandes economías de países emergentes, afirma que las agencias de ayuda humanitaria gastan alrededor de \$800 millones en un año en vehículos, pero ellos podrían ahorrar \$160 millones anualmente mejorando las prácticas logísticas relacionadas a la gestión de su transporte, éste también constituye el segundo más grande gasto general de las organizaciones humanitarias después del personal (Pedraza, 2011). En el Perú esto se agravaría debido al mal estado de las carreteras, según lo indicado por el Sr. Bruno Aberasturi Seone, Gerente Corporativo de Ransa Comercial S.A., en el boletín Transporte de Carga en el Perú (2007) elaborado para el Ministerio de Transporte y Comunicaciones, lo que ocasionaría un aumento de hasta en tres veces el costo del transporte de carga. En el mencionado boletín, se identificó el incremento porcentual de los costos de transporte de carga según el tipo de vía y ubicación sobre el nivel del mar (m.s.n.m) sobre el cual se realizaban esta clase de operaciones, encontrándose un incremento en los primeros 1000 m.s.n.m. del 58 % y 115 % para la vía afirmada y en trocha respectivamente y un incremento de 110 % para la vía afirmada y 190 % para la vía en trocha en el rango de los 1000 a 2500 m.s.n.m.

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) nos indica que de los 86,965 kilómetros de carreteras que poseía el país hasta el año 2008 solo el 16 % eran vías asfaltadas (13 683 kilómetros). Además, en el Informe Final: Marco Teórico para la Planificación Vial Departamental cuya elaboración fue encargada por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2003), determinó que el Perú cuenta con 14 268 km de red vial departamental, contando Lima y Callao con un total de 457,60 km, de los cuales solo el 34 % (156,95 kilómetros) están asfaltados, y si a esto le sumamos que según la información obtenida del Portal de Transparencia Económica del Estado, hasta el mes de setiembre del año 2013, el Gobierno Central solo había empleado el 31.6 % de los recursos presupuestados para la “Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres” en ese año, nos hace entender la necesidad de un estudio exhaustivo enfocado en el

sector transporte y más aún cuando son los principales medios de envío de la ayuda humanitaria.

El presente trabajo se enfoca en la elaboración de las rutas óptimas para el despacho de ayuda humanitaria en caso de algún desastre natural en Lima Metropolitana y el Callao teniendo en cuenta la localización de los almacenes de insumos médicos pre-establecidos por INDECI para optimizar la capacidad de atención por medio del transporte terrestre a los damnificados.

OBJETIVO GENERAL

Elaborar un plan de despacho para la flota vehicular terrestre en caso de un terremoto de gran magnitud en Lima Metropolitana y el Callao.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar los fundamentos teóricos de los sistemas de administración de ayuda humanitaria.
- Investigar sobre la cadena de abastecimiento humanitaria y los sectores propensos a sufrir desastres naturales en Lima Metropolitana y el Callao.
- Diseñar las rutas teniendo en cuenta factores importantes como los centros de abastecimiento, puntos de acopio y tipos de vulnerabilidades de zonas propensas a sufrir daños.
- Realizar un análisis de los resultados obtenidos y proponer mejoras en la capacidad de atención a los damnificados.

PUNTOS A TRATAR:

a. Marco Teórico.

Se definirá la cadena de suministro, la logística, la investigación operativa, la programación lineal y los modelos heurísticos para el Problema de Ruteo de Vehículos como aplicación en el transporte para la mejora de la distribución de la ayuda humanitaria.

- b. Descripción de la situación actual de la cadena de abastecimiento humanitaria y de zonas propensas a sufrir desastres

Se investigará sobre las cadenas de abastecimiento humanitario y sus características en el Perú, además de investigar sobre los sectores propensos a sufrir desastres de mayor dimensión en Lima y el Callao.

- c. Diseño de rutas óptimas.

Utilizando herramientas de ingeniería industrial como la investigación de operaciones que permitirá la optimización de redes a través de la aplicación de métodos heurísticos y herramientas de análisis estadístico avanzado se identificarán las mejores rutas para lograr una mayor eficiencia en el traslado de los suministros.

- d. Resultados esperados.

Explicación de los resultados obtenidos mediante la comparación cuantitativa y cualitativa en el ahorro de distancias entre los métodos propuestos que a su vez implican un mejor tiempo de respuesta.

- e. Conclusiones y recomendaciones.

ASESOR



A Dios y a mi familia. A Dios por brindarme la oportunidad. A mi familia porque su paciencia, comprensión, sacrificio y motivación hicieron que yo pudiera cumplir con mi objetivo, por esta razón esta tesis lleva mucho de ustedes. Gracias por estar siempre a mi lado.

INDICE GENERAL

	Página
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE GRÁFICOS	
CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO	01
1.1 La Administración de La Cadena De Suministro.....	01
1.2 La Logística.....	01
1.2.1 Diseño de Rutas.....	02
1.3 La Investigación de Operaciones	02
1.3.1 Modelos de Programación Lineal.....	03
1.3.1.1 Componentes del Modelo de Programación Lineal.....	03
1.3.1.2 Aplicaciones del Modelado de Programación Lineal en Transporte – Problemas de Envío.....	04
1.3.1.3 El Problema del Agente Viajero (TSP).....	04
1.3.1.4 El Problema de los m-Agentes Viajeros (m-TSP).....	05
1.3.1.5 El Problema con Ventanas de Tiempo (VRPTW).....	06
1.3.2 Heurísticas Clásicas para Problemas Ruteo de Vehículos.....	08
1.3.2.1 Algoritmo de Ahorros.....	08
1.3.2.2 Algoritmo de Ahorros Basado En Matching.....	08
1.3.2.3 Inserción Secuencial De Mole & Jameson.....	09
1.3.2.4 Inserción En Paralelo De Christofides, Mingozzi Y Toth.....	10
1.3.2.5 Métodos Asignar Primero - Rutear Después: Heurística de Barrido o Sweep.....	11
1.3.2.6 Métodos Asignar Primero – Rutear Después: Heurística de Asignación Generalizada De Fisher Y Jaikumar.....	12
1.3.2.7 Heurística De Localización De Bramel Y Simchi-Levi.....	12
1.3.2.8 Método Rutear Primero Asignar Después.....	14
1.3.2.9 Algoritmo De Pétalos.....	15
1.3.3 Análisis de Cluster – Clasificación Ascendente Jerárquica (CAJ) y Clasificación Descendente Jerárquica (CDJ)	16
CAPITULO 2: CADENA DE ABASTECIMIENTO HUMANITARIA	17
2.1 Características de los desastres.....	17
2.1.1 Características Del Perú.....	17
2.1.2 Antecedentes de desastres naturales en el Perú.....	19
2.1.3 Zonas propensas a sufrir desastres de mayor dimensión en Lima y Callao.....	19
2.2 Proceso de Administración de Desastres.....	21

2.2.1 Logística de ayuda humanitaria.....	22
2.2.2 Características de la logística humanitaria.....	24
2.3 La cadena de abastecimiento humanitaria en Perú.....	25
2.3.1 Gestión del riesgo de desastre.....	26
2.3.2 Etapa de respuesta.	28
2.3.3 Distribución de Ayuda Humanitaria e Insumos Médicos a Suministrar....	29
CAPITULO 3: DISEÑO DE RUTAS ÓPTIMAS.....	32
3.1 Lima y Callao.....	32
3.1.1 Vulnerabilidad de la población.....	32
3.1.2 Densidad Poblacional.....	36
3.2 Escenarios planteados.....	37
3.3 Diseño de rutas.....	36
3.3.1 Algoritmos empleados y rutas óptimas.....	38
3.3.2 Propuesta 1: Asignar Primero – Rutear Después (Por cercanía de Puntos).....	42
3.3.3 Propuesta 2: Asignar Primero – Rutear Después (Método del Barrido).....	54
3.3.4 Propuesta 3: Rutear Primero – Asignar Después (Método de la Gran Ruta).....	61
3.3.5 Propuesta 4: Método de la Gran Ruta aplicando Programación Lineal.....	67
3.3.6 Propuesta 5: Asignar Primero – Rutear Después (Clasificación Ascendente Jerárquica).....	78
CAPITULO 4: EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	78
4.1 Dimensionamiento Real.....	78
4.2 Diferencias y similitudes entre modelos.....	82
4.3 Evaluación técnica y económica de la mejor propuesta.....	82
4.3.1. Evaluación de Distancias.....	82
4.3.2. Evaluación de Gastos de Distribución.....	86
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
5.1 Conclusiones.....	92
5.2 Recomendaciones.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 3.1: Densidad poblacional de Lima Metropolitana censada por distrito.....	35
Tabla 3.2: Densidad poblacional del Callao censada por distrito.....	36
Tabla 3.3: Etapa Diseño de Rutas.....	37
Tabla 3.4: Ubicación Almacenes Centrales y abreviaciones.....	38
Tabla 3.5: Ubicación Almacenes de Insumos Médicos.....	38
Tabla 3.6: Niveles de Vulnerabilidad Sísmica.....	40
Tabla 3.7: Almacenes de Insumos Médicos identificados con color asociado a vulnerabilidad sísmica.....	40
Tabla 3.8: Distancias desde Almacenes Centrales a cada almacén de Insumos Médicos.....	41
Tabla 3.9: Puntos de acopio por cada cluster.....	43
Tabla 3.10: Matriz de Distancias – Cluster 3.....	44
Tabla 3.11: Distancias de Almacén Central 1 a Puntos de Acopio - Cluster 3.....	44
Tabla 3.12: Tabla 3.11: Matriz de Ahorros – Cluster 3.....	45
Tabla 3.13: Resumen Dimensionamiento de Rutas mediante Método Cercanía de Puntos.....	53
Tabla 3.14: Distancia de Almacén Central 1 a Puntos de Acopio – Cluster 7.....	55
Tabla 3.15: Matriz de Distancias - Cluster 7.....	55
Tabla 3.16: Matriz de Ahorros – Cluster 7.....	56
Tabla 3.17: Resumen Dimensionamiento de Rutas mediante Método del Barrido.....	61
Tabla 3.18: Matriz Distancias Gran Ruta 1 – Abastece AC1.....	61
Tabla 3.19: Distancias de Almacén Central 1 a Puntos de Acopio Gran Ruta 1...	62
Tabla 3.20: Matriz Ahorros – Gran Ruta 1.....	62
Tabla 3.21: Resumen Dimensionamiento de Rutas mediante Método de la Gran Ruta.....	67
Tabla 3.22: Resumen 1 escala de valoraciones asociadas por tipo de Vulnerabilidad.....	71
Tabla 3.23: Resumen 2 escala de valoraciones asociadas por tipo de Vulnerabilidad.....	72
Tabla 3.24: Tipo de Vulnerabilidad Asociada y Valoración.....	72
Tabla 3.25: Datos Estandarizados - Puntos de Acopio Abastecidos por Almacén Central 1.....	73
Tabla 3.26: Dendrograma - Clusters abastecidas por AC1.....	74

Tabla 3.27: Datos Estandarizados - Puntos de Acopio Abastecidos por Almacén Central 2	75
Tabla 3.28: Dendrograma - Clusters abastecidas AC2.....	76
Tabla 3.29: Resumen Dimensionamiento de Rutas mediante Método Clasificación Ascendente Jerárquica.....	77
Tabla 4.1: Distancias Reales Recorridas - Propuesta 1.....	79
Tabla 4.2: Distancias Reales Recorridas - Propuesta 2.....	79
Tabla 4.3: Distancias Reales Recorridas - Propuesta 3.....	80
Tabla 4.4: Distancias Reales Recorridas - Propuesta 4.....	80
Tabla 4.5: Distancias Reales Recorridas - Propuesta 5.....	81
Tabla 4.6: Resumen distancias reales recorridas por cada propuesta.....	81
Tabla 4.7: Resumen propuestas desarrolladas.....	82
Tabla 4.8: Distancias Ideales vs Distancias Reales – Propuesta 1.....	83
Tabla 4.9: Distancias Ideales vs Distancias Reales – Propuesta 2.....	83
Tabla 4.10: Distancias Ideales vs Distancias Reales – Propuesta 3.....	84
Tabla 4.11: Distancias Ideales vs Distancias Reales – Propuesta 4.....	84
Tabla 4.12: Distancias Ideales vs Distancias Reales – Propuesta 5.....	85
Tabla 4.13: Resumen Distancias Ideales y Distancias Reales.....	85
Tabla 4.14: Características Vehículo Ayuda Humanitaria.....	87
Tabla 4.15: Distritos y Sectores.....	88
Tabla 4.16: Damnificados a Abastecer por Almacén.....	89
Tabla 4.17: Damnificados a asistir por ruta según propuesta 4	89
Tabla 4.18: Combustible empleado en S/. para asistir a todos los damnificados..	90
Tabla 4.19: Cantidad de viajes y días empleados para asistir a damnificados.....	90

INDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 1.1: Problema del Agente Viajero (TSP).....	04
Gráfico 1.2: Problema de los m- Agentes Viajero (TSP).....	06
Gráfico 1.3: Rutas antes y después de ser unidas – Algoritmo del ahorro.....	08
Gráfico 1.4: Aplicación del Algoritmo Rutear primero – Asignar después.....	14
Gráfico 2.1: Mapa de zonificación sísmica a nivel de Lima Metropolitana.....	20
Gráfico 2.2: Mapa de zonificación por peligro de Tsunami a nivel de Lima Metropolitana Callao	21
Gráfico 2.3: Etapas de mitigación.....	23
Gráfico 2.4: Cadena de abastecimiento.....	29
Gráfico 3.1: Almacenes de Insumos Médicos.....	42
Gráfico 3.2: Puntos de acopio que conforman Cluster 3.....	48
Gráfico 3.3: Puntos de acopio que conforman Cluster 1.....	49
Gráfico 3.4: Puntos de acopio que conforman Cluster 3.....	49
Gráfico 3.5: Puntos de acopio que conforman Cluster 4.....	50
Gráfico 3.6: Puntos de acopio que conforman Cluster 5.....	52
Gráfico 3.7: Puntos de acopio que conforman Cluster 6.....	51
Gráfico 3.8. Método Cercanía de Puntos empleando PPL.....	51
Gráfico 3.9: Puntos de acopio abastecidos por AC1 – Método del Barrido.....	54
Gráfico 3.10: Puntos de acopio abastecidos por AC2 – Método del Barrido.....	57
Gráfico 3.11: Método Barrido empleando PPL.....	59
Gráfico 3.12: Abastecimiento de Puntos – Método Barrido	60
Gráfico 3.13: Puntos de acopio visitados mediante Método Gran Ruta - Gran Ruta 1.....	63
Gráfico 3.14. Puntos de acopio visitados mediante Método Gran Ruta - Gran Ruta 2.....	65
Gráfico 3.15. Red de Grafos generados – Gran Ruta 1.....	68
Gráfico 3.16. Red de Grafos generados – Gran Ruta 2.....	69
Gráfico 4.1.Gráfico de Resumen de Dimensionamientos-Distancias reales e ideales..	86
Gráfico 4.2. Cantidad de Días vs Cantidad de Transportes.....	91

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1 La Administración de la Cadena de Suministro

Mentzer (2001), presidente de la Escuela de Excelencia en Negocios del Departamento de Marketing y Logística de la Universidad de Tennessee, y otros investigadores proponen una definición amplia y general para la administración de la cadena de suministro (SCM, por sus siglas en inglés), mencionan que es la coordinación sistemática y estratégica de las funciones tradicionales del negocio y de las tácticas, a través de éstas funciones empresariales dentro de una compañía en particular y a través de las empresas que participan en la cadena de suministros con el fin de mejorar el desempeño a largo plazo de las empresas individuales y de la cadena de suministros como un todo.

1.2 La Logística

Lambert (1998) propone una de las definiciones más generales para la logística, la define como parte de la gestión de la cadena de suministro, que planifica, implementa y controla el flujo eficiente y efectivo de materiales y el almacenamiento de productos, así como la información asociada desde el punto de origen hasta el de consumo con el objeto de satisfacer las necesidades de los consumidores, introduciendo de esta manera un nuevo alcance de la logística al referirse también a la administración de la información.

Según Ballou (2004), la logística moderna tiene su origen en la ingeniería militar relacionada a la organización del traslado, alojamiento, transporte y aprovisionamiento de las tropas durante una campaña armamentista. El Barón de Jomini, un militar que sirvió en el ejército de Napoleón I y en el del Zar de Rusia a principios del siglo XIX, elevó la logística al rango de las tres ramas principales del Arte de la Guerra junto a la estrategia y la táctica, según lo estableció en 1838 en su obra *Précis de l'Art de la Guerre: Des Principales Combinaisons de la Stratégie, de la Grande Tactique et de la Politique Militaire*.

Con el transcurrir de los años, los profesionales que habían gestionado la logística militar después de la Segunda Guerra Mundial se incorporaron al mundo empresarial y las técnicas logísticas evolucionaron rápidamente.

1.2.1 Diseño de Rutas

Los costos de transporte normalmente se hallan entre un tercio y dos tercios del total de los costos logísticos y por esto mejorar la eficiencia mediante la máxima utilización del equipo de transporte y de su personal es una preocupación (Ballou, 2004). El tiempo durante el cual los artículos están en tránsito se refleja en el número de envíos que pueden hacerse con un vehículo en un periodo dado, así como en los costos totales de transporte para todos los envíos. Un problema frecuente en la toma de decisiones es reducir los costos de transporte y mejorar el servicio al cliente encontrando los mejores caminos que debería seguir un vehículo en una red de carreteras, de trenes, de navíos marítimos e inclusive de rutas aerolíneas que reduzcan el tiempo o la distancia.

La investigación de operaciones aplicada a la logística desempeña un papel importante en la resolución de este tipo de problemas mediante el diseño de rutas empleando algoritmos.

1.3 La Investigación de Operaciones

Taha (2004) afirma que la investigación de operaciones aspira a determinar el mejor curso de acción óptima de un problema de decisión con una restricción de recursos limitados, aplicando técnicas matemáticas para representar por medio de un modelo y analizar problemas de decisión.

Por otro lado, Wayne y Winston (2005) la definen como un enfoque científico en la toma de decisiones que busca el mejor diseño y operar un sistema, por lo regular en condiciones que requieren la asignación de recursos escasos.

De ambas las definiciones se puede concluir que el objetivo de la investigación de operaciones es encontrar la solución óptima empleando herramientas matemáticas para un problema específico (logístico, militar, económico, de infraestructura, etc.)

1.3.1 Modelos de Programación Lineal

Hillier y Lieberman (2010) afirman que: “La Programación Lineal (PL) es uno de los avances científicos más importantes del s. XX y su aplicación abarca en asignar de la mejor manera posible recursos limitados a actividades que compiten entre sí por ellos”; es por esta razón que esta herramienta ha permitido ahorrar mucho dinero a empresas de diversos rubros y de todos los tamaños. Con la programación lineal podríamos resolver problemas de asignación de recursos, materiales y servicios, mano de obra, tareas, procesos de planificación de personal, planificación de rutas y redes de telecomunicación, refinamiento y mezcla de sustancias o componentes, selección de portafolios de acciones y muchos otros.

1.3.1.1 Componentes del Modelo de Programación Lineal

Hillier y Lieberman (2010) mencionan como componentes de la programación lineal a las variables de decisión, la función objetivo y las restricciones; a continuación se presenta una descripción más detallada de cada uno de ellos.

Variables de Decisión:

En cualquier modelo de programación lineal, las variables de decisión deben describir por completo las decisiones que se tienen que tomar.

Función Objetivo:

Es la función que se desea maximizar o minimizar.

Restricciones:

También conocidas como limitaciones son las que ejercen control sobre las variables de decisión.

Restricciones de signo (Rango de existencia):

Es la información que brinda acerca del signo que puede asumir la variable de decisión.

Si una variable de decisión solo puede asumir valores no negativos, entonces se añade la restricción de signo $x_i \geq 0$. Si una variable x_i puede asumir tanto valores positivos, negativos o cero, entonces se dice que x_i no tiene restricciones de signo.

Variables de Decisión

$X_j, j = 1, 2, \dots, n$

Función Objetivo

Maximizar ó Minimizar

$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$$

Restricciones

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \{ \leq, =, \geq \} b_1$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \{ \leq, =, \geq \} b_2$$

...

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \{ \leq, =, \geq \} b_m$$

Rango de existencia

$$X_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$$

1.3.1.2 Aplicaciones del Modelado de Programación Lineal en Transporte – Problemas de Envío.

La aplicación en los problemas de transporte-envío es una de las más conocidas de la Programación Lineal. Se presenta cuando por ejemplo necesitamos tomar decisiones con respecto a las mejores rutas de distribución de artículos desde m centros de producción hasta n bodegas o almacenes.

1.3.1.3 El Problema del Agente Viajero (TSP)

Dantzig, Fulkerson y Johnson (1954) introdujeron uno de los métodos más empleados para atacar la resolución del TSP (Travelling Salesman Problem), al que definen como como un conjunto de clientes al que un vendedor debe visitar uno por uno a un costo mínimo y regresar nuevamente a su punto de partida. Para el problema de ruteo de vehículos, este conjunto de clientes representarán las ciudades destino o los almacenes finales y el vendedor representará los vehículos asignados.

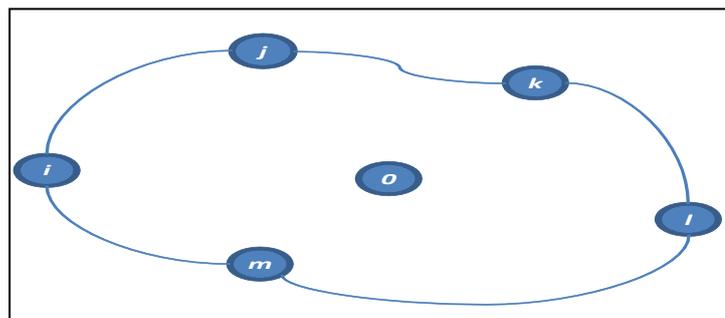


Gráfico 1.1. O el origen de partida y llegada, frente a las posibles ciudades destino.
Fuente: OLIVERA (2013)

Proponen la formulación matemática de la siguiente manera:

$$\min \sum_{(i,j)} C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

$$\min \sum_{(j \in \Delta^+(i))} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (2)$$

$$\min \sum_{(i \in \Delta^-(j))} X_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \quad (3)$$

$$\min \sum_{(i \in S, j \in \Delta^+(i) \setminus S)} X_{ij} \geq 1 \quad \forall S \subset V \quad (4)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E$$

La función objetivo (1) indica que el costo total de la solución es la suma de los arcos utilizados, las restricciones (2) y (3) indican que la ruta de llegar y abandonar cada nodo es única, la restricción (4) que todo el subconjunto de nodos S debe ser abandonado al menos una vez.

1.3.1.4 El Problema de los m -agentes viajeros (m -TSP)

Daza, Montoya y Narducci (2010) sostienen que el problema de los m agentes viajeros o m -TSP (Multiple Travelling Salesman Problem) es una generalización del TSP en la cual se tienen varios vendedores (vehículos). El objetivo es construir exactamente m rutas, una ruta por cada vehículo de modo que cada cliente (ciudad, almacén u otros) sea visitado una vez por cada vehículo.

Una formulación propuesta por Miller (1960) es la siguiente:

$$\min \sum_{(i,j) \in E} C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

$$s. a. \sum_{j \in \Delta^+(0)} X_{0j} = m \quad (2)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (3)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(i)} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (4)$$

$$u_i - u_j + px_{ij} \leq p - 1 \quad \forall (i,j) \in E, i \neq 0, j \neq 0 \quad (5)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E$$

$$U_i \leq 0 \quad \forall i \in V \setminus \{0\}$$

La restricción (1) indica que m vehículos salen del depósito. Las restricciones (2) y (3) aseguran que cada cliente es un nodo intermediario en exactamente una ruta. En la restricción (4) se asegura de la inexistencia de sub-rutas y en que cada ruta no hayan más de p clientes.

En el caso que $p = n$ (cuando la cantidad de clientes por ruta no está acotada) el m -TSP puede formularse como un TSP con m copias del depósito tales que la distancia entre ellas es infinita. Las soluciones a ese TSP no usarán arcos que conecten dos copias del depósito y por lo tanto, pueden ser interpretadas como soluciones del m -TSP.

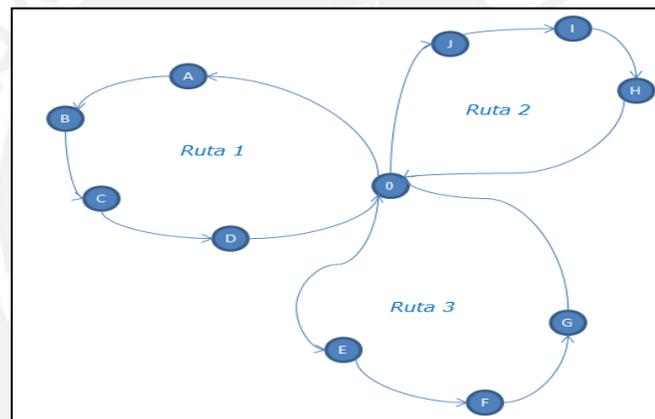


Gráfico 1.2: O el origen de partida y cada ruta es recorrida por un vehículo diferente.
Fuente: OLIVERA (2013)

1.3.1.5 El Problema con Ventanas de Tiempo (VRPTW)

Cordeau y Laporte (2002) manifiestan que este problema involucra conceptos de capacidades y ventanas de tiempo que establecen un horario de servicio $[e_i, l_i]$ por parte del vehículo y un tiempo de servicio o demora $S_i(i,j)$, donde $S_i(i,j)$ es un arco de la solución y t_i y t_j son las horas de arribo a los clientes i y j , las ventas de tiempo implican que necesariamente debe cumplirse $t_i \leq l_j$ y $t_j \leq l_i$. Por otro lado, si $t_i \leq e_i$, entonces el vehículo deberá esperar hasta que el cliente esté dispuesto o aceptar el servicio y necesariamente $t_j = e_i + s_i + t_{ij}$.

Usando los nodos 0 y n+ 1 para representar al depósito y el conjunto K para representar a los vehículos, se formula para una flota de vehículos de la siguiente manera:

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} C_{kij} X_{kij} \quad (1)$$

$$s.a. \sum_{k \in K} \sum_{j \in \Delta^-(i)} X_{kij} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0, n+1\} \quad (2)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{k0j} = 1 \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{k0j} - \sum_{j \in \Delta^-(i)} X_{kji} = 0, \quad \forall k \in K, i \in V \setminus \{0, n+1\} \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V \setminus \{0, n+1\}} d_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{kji} \leq q_k \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$y_j^k - y_i^k \geq s_i + t_{kij} - M(1-x_{kij}) \quad \forall i, j \in V \setminus \{0, n+1\}, k \in K \quad (6)$$

$$e_i \leq y_i^k \leq l_i \quad \forall i \in V \setminus \{0, n+1\}, k \in K \quad (7)$$

$$X_{kij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E, k \in K$$

$$Y_{ki} \geq 0 \quad \forall i \in V \setminus \{0, n+1\}, k \in K$$

Las variables X_{ij}^k indican si el (i,j) es recorrido por el vehículo K. Las variables y_i^k indican la hora de arribo al cliente i cuando es visitado por el vehículo k (si el cliente no es visitado por dicho vehículo el valor de la variable no tiene significado). La función objetivo (1) es el costo total de las rutas. La restricción 2 indica que todos los clientes deben ser visitados. Las restricciones (3) y (4) determinan que cada vehículo $k \in K$ recorre un camino de 0 a n+1. La capacidad de cada vehículo es impuesta en (5). Siendo M una constante lo suficientemente grande, la restricción (6) asegura que si un vehículo k viaja de i a j, no puede llegar a j antes que $y_i + s_i + t_{ij}^k$, y actúan además como restricciones de eliminación de sub-rutas y los límites de las ventanas de tiempo son impuestos en (7).

1.3.2 Heurísticas Clásicas para Problemas Ruteo de Vehículos

1.3.2.1 Algoritmo del Ahorro

Llamado también Algoritmo de Clarke y Wright, quienes lo definen de la siguiente manera: “si en una solución, dos rutas diferentes $(0, \dots, i, 0)$ y $(0, j, \dots, 0)$ pueden ser combinadas formando una nueva ruta $(0, \dots, i, j, \dots, 0)$, entonces el ahorro está representado por”:

$$S_{ij} = C_{i0} + C_{0j} - C_{ij}$$

Donde C_{i0} es la distancia que existe entre el nodo i y 0

C_{0j} es la distancia que existe entre el nodo 0 y j

C_{ij} es la distancia que existe entre el nodo i y j

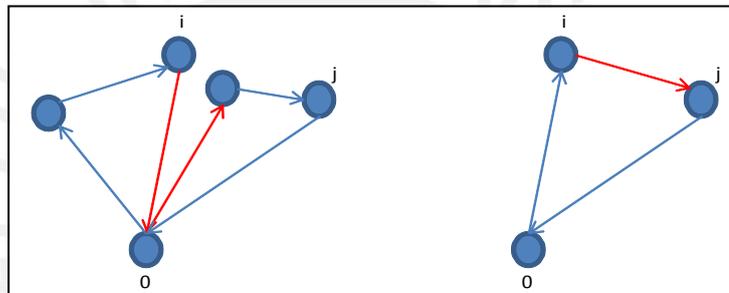


Gráfico 1.3: Rutas antes y después de ser unidas
Fuente: OLIVERA (2013)
Elaboración Propia

El ahorro es el resultado de no utilizar los arcos $(i,0)$ y $(0,j)$, en lugar de esos arcos se agregará el arco (i,j)

1.3.2.2 El Algoritmo del Ahorro Basado en *Matching*¹

En el algoritmo del ahorro basado en *Matching* (conjunto de arcos que no tienen extremos en común) sí se consideran las complicaciones que pudiera tener esta solución en las iteraciones siguientes, para esto se crea un grafo que tiene a todas las rutas como nodos y un arco entre dos nodos p y q cuyo peso es el ahorro obtenido si es que las rutas correspondientes se pueden combinar. Un *Matching* de peso máximo (suma de los pesos de sus arcos) sobre dicho grafo da un conjunto de combinaciones a realizar que es globalmente bueno.

¹ Alfredo Olivera, Problemas de Ruteo de Vehículos (2004).

Existen varias propuestas de métodos de resolución de este algoritmo, por ejemplo en la propuesta de Desrochers y Verhoog (1999) y de Altinkemer y Gavish (1981), al combinar dos rutas no solamente se considera la posibilidad de insertar una al final de la otra como en el Algoritmo de Ahorros original, sino todas las posibilidades de armar una nueva ruta con los clientes de ambas.

En la propuesta de Wark Y Holt (1994) el ahorro puede definirse de la forma usual o puede modificarse para privilegiar las uniones que estén lejos de ser no factibles. Cuando no hay más combinaciones de rutas que sean factibles, algunas rutas son divididas probabilísticamente, lo que permite proseguir la búsqueda de soluciones.

1.3.2.3 Inserción Secuencial de Mole & Jameson

Mole y Jameson (1976) indican que en las heurísticas de inserción secuencial se considera insertar clientes en la última ruta creada, pero muchas veces los clientes no visitados se encuentran dispersos y por lo tanto las últimas rutas construidas son de costo muy elevado.

Para decidir el próximo cliente a insertar en la solución parcial se calcula la mejor posición para ubicarlo en la ruta actual teniendo en cuenta solamente las distancias y sin reordenar los nodos que ya están en la ruta. Se tiene una ruta $(v_0, v_1, \dots, v_t, v_{t+1})$ donde $v_0 = v_{t+1} = 0$. Si w es un cliente no visitado, el costo de insertar w entre v_i y v_{i+1} ($0 \leq i \leq t$) lo definen como:

$$C_1(v_i, w) = \begin{cases} C_{v_i, w} + C_{w, v_{i+1}} - \lambda C_{v_i, v_{i+1}} & \text{Si } (v_0, \dots, v_i, w, v_{i+1}, \dots, v_{t+1}) \text{ es} \\ \text{factible} & \\ \infty & \text{Si no es factible} \end{cases}$$

La mejor posición para insertar el cliente w en la ruta actual está dada por:

$$i(w) = \arg \min_{i=0, \dots, t} C_1(v_i, w)$$

Si se usara solamente la medida c_1 para decidir el próximo cliente a insertar, es probable que los clientes alejados al depósito no sean tenidos en cuenta sino hasta las iteraciones finales del algoritmo, es decir, cuando sean las únicas alternativas factibles. Por lo tanto, es necesario utilizar un incentivo adicional para la inserción de clientes lejanos al depósito. Se define $C_2(v_i, w) = \mu_{c_{ow}} - c_1(v_i, w)$ para cada cliente w . En cada iteración se busca el cliente que maximiza la medida C_2 (llamada medida de urgencia) y se lo inserta en la posición dada por el mínimo valor de c_1 .

Además de las medidas anteriores, debe considerarse la factibilidad de las inserciones. Cuando ninguna inserción es factible y si aún quedan clientes sin visitar, se selecciona un cliente para comenzar una nueva ruta.

1.3.2.4 Inserción en paralelo de Christofides, Mingozzi y Toth²

Opera en dos fases. En la primera fase se determina la cantidad de rutas a usar, junto con un cliente para inicializar cada una de las rutas. En la segunda fase se crean dichas rutas y se inserta el resto de los clientes en ellas.

En la primera fase del algoritmo se aplica un algoritmo de inserción secuencial para obtener rutas compactas. No se presta especial atención a la ubicación de los clientes dentro de la ruta, pues de ésta fase solo se observan los clientes iniciales de cada ruta y la cantidad de rutas de la solución final.

Para inicializar la k -ésima ruta se selecciona un cliente v_k dentro de los no visitados. Se define el costo de insertar el cliente w en la ruta que contiene a v_k como $\bar{\delta}_{w, v_k} = C_{ow} + \lambda_{c_w, v_k}$ (si el cliente no puede ser insertado, la función toma el valor de ∞) y se asignan clientes a la ruta comenzando por lo menores valores de $\bar{\delta}$ hasta que no haya inserciones factibles, en cuyo caso se crea una nueva ruta o se termina el algoritmo.

En la segunda fase del algoritmo se crean K rutas y se las inicializa con los clientes seleccionados en el paso 2 de la fase 1. Cada cliente no visitado se asocia con la ruta en la que el costo de insertarlo es minimizando. Luego se selecciona una ruta cualquiera en la que se insertan los clientes que tiene asociados. Para decidir el orden en que se insertan los clientes asociados a una ruta se calcula, para cada

² N. Christofides, A. Mingozzi y P. Toth., Exact Algorithms For The Vehicle Routing Problem, Based On Spanning Tree And Shortest Path Relaxations. (1981).

cliente, la diferencia entre el costo de realizar la inserción en esa ruta y en la segunda mejor opción para él. Cuando mayor es esa diferencia, mayor es la urgencia por insertar dicho cliente en esta ruta.

1.3.2.5 Métodos Asignar Primero - Rutear Después: Heurística de Barrido o Sweep

Según Wren y Holliday (1972) el método, conocido también como Cluster First – Route Second, al igual que el algoritmo de Christofides, Mingozzi y Toth procede en dos fases. En la primera fase se busca generar grupos de clientes también llamados clusters, que estarían en una misma ruta en la solución final. Luego para cada cluster se crea una ruta que visite a todos sus clientes. Las restricciones de capacidad son consideradas en la primera etapa, asegurando que la demanda total de cada cluster no supere la capacidad del vehículo. Por lo tanto, construir las rutas para cada cluster es un TSP que, dependiendo de la cantidad de clientes en el cluster se puede resolver en forma exacta o aproximada.

Los clusters se forman girando una semirrecta con origen en el depósito e incorporando los clientes barridos por dicha semirrecta hasta que se llegue a la restricción de capacidad. Cada cluster es luego ruteado resolviendo un TSP de forma exacta o aproximada. Este algoritmo puede aplicarse en problemas planos, es decir en los que cada nodo se corresponde con un punto en el plano y las distancias entre ellos se definen como la distancia euclídea. Se supone que cada cliente i está dado por sus coordenadas polares (ρ_i, Θ_i) en un sistema que tiene al depósito como origen. El procedimiento se repite n veces, comenzando en cada ejecución por un cliente diferente. Se propone además un procedimiento para eliminar clientes de cada ruta finalizada e insertar clientes que aun no fueron visitados, en el caso que esto disminuya el costo de la ruta. Los clientes eliminados de la ruta serán barridos por alguna ruta posterior. Usando esta variante las rutas pueden solaparse.

1.3.2.6 Métodos Asignar Primero - Rutear Después: Heurística de Asignación Generalizada de Fisher y Jaikumar³

Fisher y Jaikumar (1981), proponen generar los clusters resolviendo un problema de asignación generalizada sobre los clientes. Primero se fijan K clientes semilla S_k con $k=1, \dots, K$ sobre la base de los cuales se construirán los clusters. En una segunda fase, se decide que clientes asignar a cada uno de los clusters de modo de no violar la capacidad del vehículo, resolviendo un GAP (Problema de Asignación Generalizada) que se define a continuación:

$$\min \sum_{k=1}^k \sum_{i \in V \setminus \{0\}} d_{ik} X_{ik} \quad (1)$$

$$s.a \sum_{k=1}^k X_{ik} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V \setminus \{0\}} q_{ik} X_{ik} \leq Q \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (3)$$

$$X_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in V \setminus \{0\}, \quad \forall k = 1, \dots, k \quad (4)$$

Las variables X_{ik} indican si el cliente i es asignado al cluster k . El objetivo es minimizar el costo total de la asignación, como se indica en 1. La restricción 2 indica que cada cliente es asignado a exactamente un cluster. En la desigualdad 3 se impone que la demanda de los clientes en un mismo cluster no puede superar la capacidad del vehículo.

El costo de insertar un cliente i en el cluster k se define como el costo de la mejor inserción del cliente i ruta $(0, s_k, 0)$, es decir, $d_{ik} = \min\{c_{0i} + c_{i,s_k} + c_{s_k,0}, c_{0,s_k} + c_{s_k,i} + c_{i,0}\} - (c_{0,s_k} + c_{s_k,i})$. En el caso de que los costos sean simétricos, $d_{ik} = c_{0i} + c_{i,s_k} - c_{0,s_k}$

1.3.2.7 Heurística de Localización de Bramel y Simchi-Levi⁴

Es similar al de Fisher y Jaikumar. En ambos existe un conjunto de clientes semilla y a cada uno se le asignan algunos clientes. Sin embargo, en esta propuesta los

³ Fisher, M. L. y Jaikumar, A Generalized Assignment Heuristic For Vehicle Routing Networks (1981)

⁴ Bramel, J., Simchi-Levi, D, A Location Based Heuristic For General Routing Problems. Operations Research. (1995)

cliente semilla son determinados por el algoritmo resolviendo un problema de localización de concentradores con capacidades (CCLP), esto es: Se dispone de m posibles ubicaciones para concentradores de capacidad Q_j ($j=1, \dots, m$) y n terminales, cada uno de los cuales utiliza w_i ($i=1, \dots, n$) de la capacidad del concentrador al que se conecta. El costo por ubicar un concentrador en la ubicación j es f_j y el costo de conectar el terminal i al concentrador j es c_{ij} . El CCLP consiste en decidir cuales concentradores colocar y que terminales conectar a cada concentrador de modo que cada terminal se conecte con exactamente un concentrador, se satisfagan las restricciones de capacidad y se minimicen los costos. Una formulación como un problema de programación 0-1 es:

$$\min \sum_{j=1}^m f_j y_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s.a. } \sum_{j=1}^m X_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, n \quad \forall j = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i X_{ij} \leq y_j Q_j \quad \forall j = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i = 1, \dots, n, \quad \forall j = 1, \dots, m$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad \forall j = 1, \dots, m$$

Las variables binarias y_j indican si se instala un concentrador en el sitio j y las X_{ij} indican si el terminal i se conecta al concentrador j . La función objetivo (1) es la suma de los costos fijos por la instalación de concentradores y los costos variables de conexión de terminales. La restricción (2) asegura que todo terminal se conecte a un concentrador. Finalmente la restricción (3) asegura, por un lado, que si se instala un concentrador en el sitio j la demanda de los terminales que se le conectan no supera su capacidad y, por otro lado, que si se decide no colocar un concentrador en j tampoco se conecten terminales a ese sitio.

El CCLP brinda un marco general para resolver problemas de ruteo de vehículos, definiendo a las posibles semillas como sitios para ubicar concentradores. Dados m subconjuntos de clientes: T_1, \dots, T_m , el costo de usar el subconjunto T_j en la solución es $t(T_j)$ (el costo de un TSP óptimo sobre los clientes T_j), siempre que la demanda de los clientes de T_j no supere la capacidad del vehículo. Además, para cualquier cliente i , el costo de agregarlo a T_j es $t(T_j \cup \{i\}) - t(T_j)$. El problema de decidir que semillas usar y que clientes conectar con que semillas es un CCLP donde los posibles concentradores son las posibles semillas, los terminales son los clientes,

los costos fijos son los costos de rutear cada semilla y los costos de conexión son los costos de inserción de clientes en las semillas.

1.3.2.8 Método Rutear Primero - Asignar Después⁵

Para Beasley (1983) también se procede en dos fases. Primero se calcula una ruta que visita a todos los clientes resolviendo un TSP. En general esta ruta no respeta las restricciones del problema y se particiona en varias rutas, cada una de las cuales es factible.

Dada $r = (0, v_1, \dots, v_n, 0)$, la solución del TSP obtenida en la primera fase, se determina la mejor partición de r que respete la capacidad del vehículo. Este problema se puede formular como el de hallar un camino mínimo en un grafo dirigido y acíclico. Para ellos, se construye un grafo $G=(X,V,W)$ donde $X=\{0, v_1, \dots, v_n\}$. Los arcos del G conectan todo par de clientes v_i y v_j con $i < j$ y tales que la demanda total de los clientes v_{i+1}, \dots, v_j no supera la capacidad del vehículo: $V=\{(v_i, v_j) | i < j, \sum_{k=i+1}^j d_{v_k} \leq Q$

$$w(v_i, v_j) = C_{0, v_i+1} + C_{v_j, 0} + \sum_{k=i+1}^{j-1} C_{v_k, v_{k+1}}$$

Un arco (v_i, v_j) representa la ruta $(0, v_{i+1}, \dots, v_j, 0)$. Cada camino de 0 a v_n en G representa una posible partición de la ruta r en rutas que respetan las restricciones de demanda. Por lo tanto, el camino de costo mínimo entre 0 y v_n representa la partición de costo mínimo de la ruta original en rutas que respetan la restricción de capacidad. Como el grafo es acíclico (solo hay arcos (v_i, v_j) con $i < j$), puede usar el algoritmo de Dijkstra para hallar dicho camino.

En la figura se presenta un posible ordenamiento de los clientes de un problema y su grafo asociado. Si el camino más corto de 0 a 4 en el grafo fuera $(0,2,4)$, la solución dada por el algoritmo serían las rutas $(0,1,2,0)$ y $(0,3,5,4,0)$, como se indica:

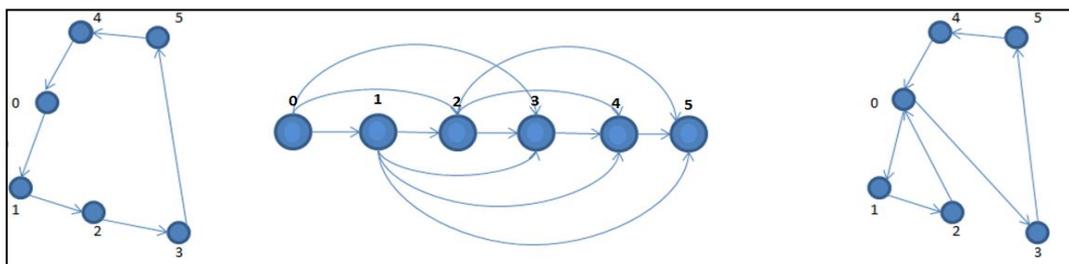


Gráfico 1.4: Aplicación del Algoritmo Rutear Primero - Asignar Después
Fuente: OLIVERA (2013)

⁵ Alfredo Olivera , Problemas de Ruteo de Vehículos (2004).

Aunque la ruta inicial sea la solución óptima del TSP y la partición se realice de manera óptima, las rutas obtenidas no necesariamente son una solución óptima para el problema. Por lo tanto, alcanza con que la ruta inicial se calcule en forma heurística. El algoritmo puede ejecutarse repetidas veces, partiendo de diferentes rutas iniciales.

Según la definición original, $w(v_i, v_j)$ es el costo de la ruta que comienza en v_{i+1} , sigue el orden de la ruta original y termina en v_j . Esta definición puede modificarse permitiendo variar el orden de los clientes v_{i+1}, \dots, v_j de modo de obtener una ruta mejor.

1.3.2.9 Algoritmo de Pétalos

Balinski y Quandt (1964) lo describen como la un conjunto de rutas R , de modo que cada ruta $r \in R$ es factible, pero cada cliente es visitado por varias de las rutas. El problema de seleccionar un subconjunto de R de costo mínimo que visite únicamente y solo una vez a cada cliente puede formularse como un Set Partitioning Problem (SPP)

$$\begin{aligned} \min \sum_{k \in R} c_k X_k \\ \text{s. a. } \sum_{k \in R} a_{ik} X_k = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \\ x_k \in \{0,1\} \quad \forall i \in S \end{aligned}$$

Donde a_{ik} vale 1 si el cliente i es visitado por la ruta r_k y 0 si no y donde c_k es el costo de la ruta r_k . La variable X_k indica si la ruta r_k es seleccionada o no en la solución final.

En el caso extremo de que R contenga todas las posibles rutas factibles, solucionar el SPP es equivalente a resolver el problema en forma exacta. Como la cantidad de rutas factibles es, en el caso general, exponencial en la cantidad de clientes, se suele generar solamente un subconjunto de formado por “buenas” rutas.

Cada columna del SPP representa una ruta de R. Cuando en toda la columna los ceros aparecen de forma consecutiva, el problema verifica la propiedad de columnas circulares y el SPP correspondiente puede ser resuelto en tiempo polinomial. Trasladado al problema la propiedad establece que, para determinado ordenamiento de los clientes del problema, el conjunto de clientes visitado por cada ruta forma un intervalo (que en algunos casos tiene forma de pétalo).

1.3.3. Análisis de Clusters – Clasificación Ascendente Jerárquica (CAJ) y Clasificación Descendente Jerárquica (CDJ)⁶

El análisis de clusters a través de los métodos jerárquicos tienen por objetivo agrupar para formar una cluster nueva o bien separar algunas ya existentes para dar origen a otras dos, de tal forma que, si sucesivamente se va realizando el agrupamiento o disolución de los grupos, se minimice alguna distancia o se maximice alguna medida de similitud.

Los métodos jerárquicos se subdividen en aglomerativos y disociativos. Los métodos aglomerativos conocidos como ascendentes (clasificación ascendente jerárquica), comienzan el análisis con grupos individuales, uno por cada punto que conforman las clusters, a partir de estas unidades iniciales se van formando grupos, de forma ascendente, hasta que al final del proceso todos los casos tratados están englobados en un mismo conglomerado. Los métodos disociativos, también llamados descendentes (clasificación descendente jerárquica), constituyen el proceso inverso al anterior, comienzan con un conglomerado que engloba a todos los casos tratados y, a partir de este grupo inicial, a través de sucesivas divisiones, se van formando grupos cada vez más pequeños; al final del proceso se tienen tantas agrupaciones como casos han sido tratados. Estos agrupamientos según este método son representados, de manera eficiente, gráficamente como árboles (dendrogramas) que resumen el proceso de agrupación en el análisis de clusters, en el que los objetos similares se conectan mediante enlaces cuya posición en el diagrama está determinada por el nivel de similitud/disimilitud entre los mismos. (Villardón, 2007)

⁶ R. Gutiérrez, A. González, F. Torres, J.A. Gallardo (1994). "Técnicas de Análisis de datos Multivariable. Tratamiento computacional". Universidad de Granada.

CAPITULO 2: CADENA DE ABASTECIMIENTO

HUMANITARIA

2.1 Características de los desastres

2.1.1 Características del Perú

Según el Atlas de Peligros del Perú 2010, el territorio peruano se encuentra ubicado en la costa occidental de América del Sur con una extensión latitudinal aproximada de 0°05' sur a 18°20' sur, en la zona tropical y subtropical, en el borde oriental del cinturón del fuego del Océano Pacífico, bajo la dinámica de la tectónica de las placas sudamericana y de nazca, con una alta actividad sísmica en relación al resto del mundo, está expuesto a la ocurrencia de peligros naturales, comprometiendo la seguridad de las poblaciones y de la infraestructura de desarrollo.

Según el censo de Población del año 2007 elaborado por el INEI (Instituto Nacional de Estadística), el departamento con mayor población es Lima al tener 8 millones 445 mil 211 habitantes y concentrar cerca de la tercera parte de la población nacional (30.8 %).

La densidad poblacional para el año 2007 fue de 22,0 Hab/km² y se observa que la Provincia Constitucional del Callao cuenta con una densidad de 5996 Hab/km² y el departamento de Lima con 242.7 Hab/km², destacando también por presentar la mayor cantidad de habitantes por kilómetro cuadrado.

En el 2007, la población urbana censada fue de 20 millones 810 mil 288 habitantes, la misma que representa el 75.9 % de la población nacional. La población empadronada en los poblados rurales fue de 6 millones 601 mil 869 personas, que representan el 24.1 % de la población censada.

2.1.2 Antecedentes de desastres en el Perú

Para Huertas (2009) el fenómeno del niño, los sismos, las erupciones volcánicas, las sequías, aluviones u otros, son fenómenos que el Perú experimentó en el

pasado, que venimos experimentando en la actualidad y que probablemente volverán con un protagonismo catastrófico en el futuro. Por ejemplo, según el reconocido arqueólogo Shimada (1991) en nuestro Perú del siglo VI prevaleció una sequía por más de 20 años que causó cambios drásticos en las culturas políticas pre-incas de la época, especialmente en la cultura Mochica, que posteriormente fue azotada por un fenómeno del niño de grandes proporciones lo que contribuyó a su rápida invasión y conquista. Otra alteración climática que desencadenó fuertes desastres naturales identificada por historiadores y arqueólogos como Ortlof y Kolata (1993) data del siglo X con el gran cambio ecológico en el altiplano sureño, y trasladó el efecto en varias regiones del Perú y ocasionando el declinamiento de grandes culturas como la Tiahuanaco y la Wari.

El siglo anterior y el siglo en el que nos encontramos no es ajeno a estos golpes de la naturaleza; por este motivo el interés de diversos organismos estatales e internacionales en realizar estudios que contribuyan a la mitigación del impacto que podrían causar estos eventos. La UNESCO con ayuda de organismos como CISMID (Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres), IGP (Instituto Geofísico Peruano), INGEMMET (Instituto Geológico Minero Metalúrgico), entre otros, menciona, en el Atlas de Peligros del Perú 2010, algunos de los últimos acontecimientos catastróficos más importantes como:

31 de mayo 1970, Ancash. Terremoto de magnitud 7.8 en la escala de Richter. Epicentro: mar a 50km, al oeste de Chimbote, con una profundidad de de 30km. Afectó un área comprendida entre 175 km, al norte del epicentro, 0km al sur y 170km hacia el interior del departamento de Ancash. Causó 67 000 víctimas, 150 000 heridos, 800 000 personas se quedaron sin hogar, el 95 % de las viviendas de adobe quedaron destruidas, ocasionó pérdidas por 2000 millones de dólares americanos (actualizados) y uno de los acontecimientos más tristes la desaparición de los poblados de a Yungay y Ranrahirca por un alud ocasionado a raíz del terremoto.

23 de junio del 2001, Arequipa, Moquegua, Tacna, Ayacucho y Apurímac. El terremoto tuvo como epicentro el mar de Ocoña en el departamento de Arequipa con una magnitud de 6.9 en la escala de Richter.

21 de febrero 1946, Chimbote. Sismo cuyo epicentro fue ubicado a 210 km al suroeste de Chimbote, departamento de Ancash con una magnitud de 6.9 en la escala de Richter, generó un maremoto afectando principalmente Chimbote y dejando un gran saldo de daños materiales y 15 víctimas.

Verano 1999 (de enero a febrero), ocasionaron 93 emergencias con 49 146 damnificados 1 784 viviendas destruidas.

El niño 1997/1998: Pérdidas en el sector social (vivienda, educación, salud) S/. 485 millones, **Pérdidas en el sector Producción** (agropecuario, pesquería, industria, comercio) S/. 1625 millones, **Pérdidas en Infraestructura** (transporte, energía y otros) S/. 1390 millones.

1925/1989 (65 años), en una publicación del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (1989) se menciona un registro de, aproximadamente 5 200 aluviones a nivel nacional, con grandes pérdidas económicas y numerosas vidas humanas.

1982/1983, Huancavelica. Debido a la sequía se perdieron 20 573 hectáreas con un valor aproximado de 4 millones de dólares americanos. La sequía afectó a los departamentos de Apurímac, Ayacucho, Puno y Cusco con un fuerte impacto en la economía de los agricultores de la zona.

27 febrero 1998, Acobamba. Aluvión al pie del nevado Salccantay, departamento de Cusco, destruyó la hidroeléctrica del Machu Picchu, ocasionando pérdida aproximada de 100 millones de dólares americanos.

15 agosto 2007, Pisco. Terremoto de 7.9° en la escala de Richter que dejó 595 muertos, casi 2 291 heridos, 76 000 viviendas totalmente destruidas e inhabitables y 431 mil personas afectadas.

2.1.3 Zonas propensas a sufrir desastres de mayor dimensión en Lima y Callao

Por otro lado, se ha propuesto una zonificación sísmica para la ciudad de Lima en base al tipo de suelo (PREDES, 2009); este factor está relacionado a la amplificación sísmica que se tendría ante un movimiento telúrico, es decir que las construcciones sobre ciertas zonas estarían propensas a sufrir mayor daño que otras ubicadas en otro sector. Se presenta a continuación la zonificación sísmica por tipo de suelo de la ciudad de Lima que comprende a Lima Metropolitana y el Callao.

ZONA 1: Es el mejor suelo. Esta zona está conformada por afloramientos rocosos. Se puede construir con tranquilidad.

ZONA 2: Terreno conformado por estrato superficial de suelos granulares finos y arcillosos. El grado de amplificación sísmica es leve.

ZONA 3: Conformada en su mayoría por depósitos de suelos finos y arenas de gran espesor. Todavía se puede construir.

ZONA 4: Aquí se recomienda no construir. Zona conformada por depósitos marinos y suelos pantanosos

ZONA 5: Esta es una zona crítica. Constituida por depósitos de rellenos sueltos de desmontes. La amplificación sísmica es grave.

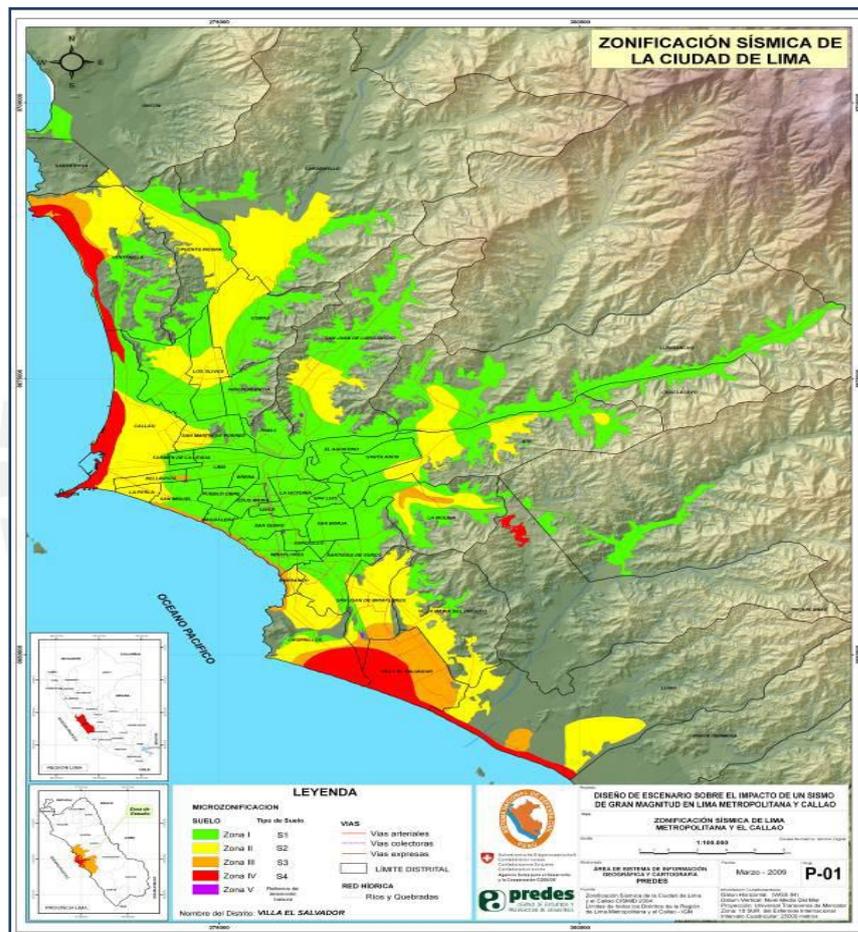


Gráfico 2.1: Zonificación Lima y Callao
Fuente: PREDES (2010)

Según Silgado (1978) por su ubicación geográfica, Lima Metropolitana y Callao se ha visto atacada por una gran cantidad de sismos de gran intensidad y muchos de ellos han generado la ocurrencia de tsunamis. En las costas peruanas se tiene un registro de tsunamis de más de 500 años, con 117 tsunamis generados por sismos. El tipo de Tsunami que se está asumiendo en el siguiente gráfico es cercano es decir a menos de 1 000 km de la costa.



Gráfico 2.2: Mapa de Zonificación por peligro de Tsunami a nivel de Lima Metropolitana y Callao
Fuente: PREDES (2010)

2.2 Proceso de administración de desastres

Según la USAID-OFDA⁷ (1995) en su publicación *Sistema de Manejo Integral de Desastres*, la administración de desastres se puede definir como el componente del sistema social constituido por el planeamiento, la organización, la dirección y el control de las actividades relacionadas con el manejo de los desastres en cualquiera de sus fases.

Esta importante definición nos permite conocer que la administración de desastres abarca asuntos políticos, legales y humanitarios y sobretodo que no solo se centra en las actividades y medidas que se llevan a cabo después de ocurrido el desastre, como se suele pensar, con la administración de la asistencia en emergencias y

⁷ Oficina de Asistencia para Catástrofes de la Agencia Internacional para el Desarrollo de los Estados Unidos

el mantenimiento a largo plazo de refugiados y personas damnificadas, sino que también se enfoca en las acciones y estrategias que se deben llevar a cabo antes de que ocurra el evento catastrófico.

Según diversos autores, las fases de la administración del desastre, que a su vez se pueden relacionar con las fases de la logística humanitaria, son tres:

Antes del Desastre (Prevención, Mitigación, Preparación y Alerta), en la prevención se busca evitar que ocurra el evento, a pesar que muchas veces es imposible evitar su ocurrencia, en la mitigación se busca aminorar su impacto, en la preparación se diseña la respuesta y la alerta corresponde a la notificación de un peligro que se encuentra pronto a acontecer.

Durante el Desastre (Respuesta), son las acciones que se llevan a cabo durante la emergencia o inmediatamente después de ocurrido este evento, comprende labores de evacuación de comunidades, de salvamento, búsqueda y rescate. La mayor atención de los medios de comunicación y de la comunidad internacional son puestos en este periodo porque es el más dramático y alarmante.

Después (Rehabilitación y Reconstrucción), la rehabilitación corresponde al periodo posterior al de la etapa final de emergencia y la reconstrucción, que se caracteriza por el esfuerzo invertido en la restauración de la infraestructura y de los sistemas de producción para regenerar la economía y volver (o superar) al nivel de desarrollo anterior al desastre.

2.2.1 Logística de Ayuda Humanitaria

La Logística Humanitaria se puede definir como el proceso de planificación, ejecución y control del eficiente y rentable flujo y almacenamiento de mercancías y materiales, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de destino, con la finalidad de atender los requerimientos de los damnificados. La función abarca una gama de actividades como la preparación, planificación, adquisición, transporte, almacenamiento, seguimiento, entre otros (Thomas y Kopczak, 2005)

Tomasini y Van Wassenhove (2009) identifican cuatro etapas básicas en el ciclo de la gestión de la ayuda humanitaria de emergencia: la etapa de mitigación, de

preparación, de respuesta y de rehabilitación, las cuales se explican a continuación:

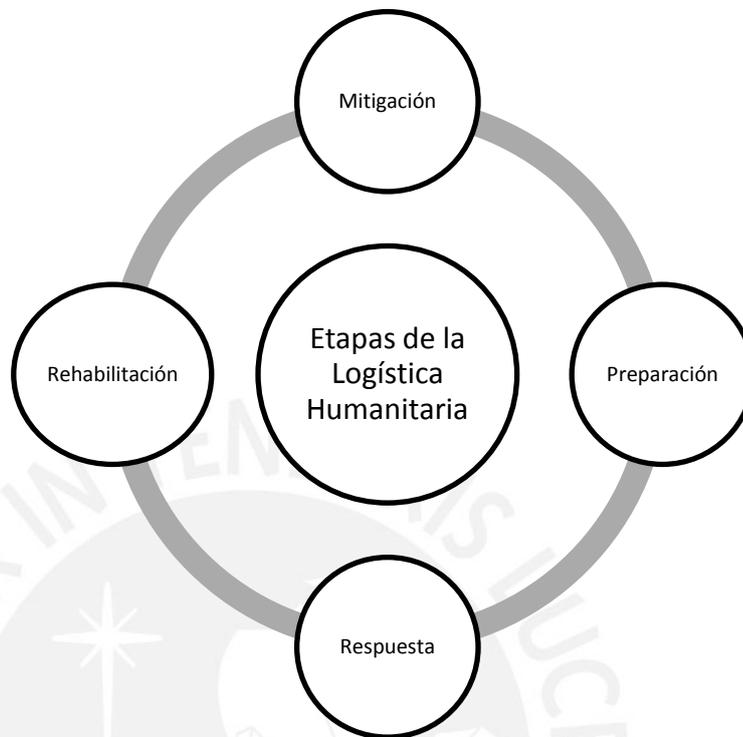


Gráfico 2.3: Etapas de Mitigación
Fuente: Tomasini y Wassenhove (2009)
Elaboración propia

El objetivo de la etapa de mitigación, que tiene lugar antes de la ocurrencia del desastre, es desarrollar acciones preventivas que disminuyan los efectos de un posible desastre en el futuro. (Por ejemplo, no construir edificios en el curso de una cuenca sujeta a grandes crecidas).

En la etapa de preparación se aborda la planificación, que al igual que la fase de mitigación tiene lugar antes de la ocurrencia del desastre. El papel de la logística en esta fase es muy importante, ya que ésta no puede improvisarse en el momento en que surge la emergencia humanitaria.

La etapa de respuesta tiene lugar durante el desastre y los instantes inmediatamente posteriores, incluye la valoración inicial del impacto de la crisis y la organización de las acciones de ayuda y atención de los damnificados.

Por último, en la etapa de rehabilitación o también llamada reconstrucción, que tiene lugar después del desastre, existe una gran interacción con los proyectos de cooperación para el desarrollo, ya que los objetivos de la fase de reconstrucción deben orientarse a tratar de mejorar la condición de vida de la comunidad afectada para que se reduzcan las probabilidades de sufrir los estragos de su impacto en el futuro.

2.2.2 Características de la Logística Humanitaria

Intervienen muchos protagonistas: ONG's, agencias de cooperación nacionales e internacionales, proveedores representados por los donantes y clientes representados por las víctimas del desastre, entre otros. Para Carrasco y Bara (2010) existen ciertas particularidades de la Logística Humanitaria como: el flujo de materiales, el flujo de información y el flujo financiero, estas particularidades, son detalladas a continuación:

Flujo de materiales

Una de las particularidades del flujo de materiales en la logística humanitaria es la existencia de artículos inadecuados para ser distribuidos entre los damnificados; de esta forma ocasionan carga adicional y ocupan espacio en almacenes innecesariamente y por consiguiente elevando el costo de posesión de inventarios. (Organización Panamericana de la Salud, 2008).

Por otro lado, es necesario considerar también rutas alternativas de transporte ya que las rutas habituales, ante estos eventos pueden quedar seriamente dañadas afectando la eficiencia de la distribución de los artículos y el traslado del personal humanitario.

Flujo de información

En las etapas iniciales es importante hacer una evaluación de los daños con el fin de establecer las necesidades en las distintas áreas afectadas (agua, alimentos, medicinas, carpas, entre otros.) y definir los medios y recursos con los que se

cuenta para hacer frente a esas necesidades. Es necesario también una adecuada coordinación entre todos los agentes que intervendrán para evitar que se dupliquen esfuerzos y lograr un buen rol. Asimismo, un aspecto importante es la facilidad que manejan los medios de comunicación para la obtención de fondos y de la información que puedan facilitar para poder realizar una mejor labor y actuar en los lugares adecuados y de la manera adecuada.

Flujo financiero

Una característica importante del flujo financiero en el contexto humanitario es la necesidad de conseguir rápidamente liquidez para actuar en la fase de respuesta. Para dar una solución parcial a este problema, algunas organizaciones han creado instrumentos como el Fondo de Ayuda para Emergencias de Cruz Roja, creado en 1985, el Fondo central para la acción en casos de emergencia (CERF, por sus siglas en inglés: Central Emergency Response Fund) de la Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios de Naciones Unidas (OCHA), creado en 2006, o el Fondo de Emergencia constituido por Médicos sin Fronteras (Gutiérrez, 2006). En estos fondos los donantes pueden realizar aportaciones previas, de modo que en el momento en que sucede el desastre se puede contar con cierta liquidez inicial que facilitaría una rápida respuesta; también es importante indicar que la gran parte de los aportes de los donantes son recibidos cuando se encuentra en la etapa de rehabilitación, en esta etapa todos los problemas son transmitidos por los medios de comunicación y por ende recién captan el interés social.

2.3 La cadena de abastecimiento humanitaria en Perú

Según CENEPRED (Centro Nacional de Estimación Prevención y Reducción de Riesgo de Desastres) y El Ministerio de Transporte y Comunicaciones durante una emergencia se colocan los recursos de personal y materiales a disposición, coordinando con el INDECI las operaciones de ayuda necesaria y aplicando las medidas previstas en un plan pre-establecido, también tienen la labor de evaluar los daños que se hubieran podido haber ocasionado en las redes viales y de habilitar caminos de emergencia en caso se encuentren bloqueados o con estructuras colapsadas.

El SINADECI, en el Manual de Organización y Funciones de la Dirección Nacional de Logística-SINADECI publicado en el 2003, nos indica que es el encargado de

proponer, establecer e implementar los sistemas más adecuados para el transporte oportuno de los recursos logísticos del INDECI para una adecuada atención de las emergencias y de organizar y ejecutar el transporte aéreo o terrestre de los bienes del almacén central a los diferentes almacenes ubicados en los ámbitos regionales empleando medios de transporte terrestre privados o institucionales.

Actualmente la cadena de abastecimiento humanitaria en el Perú es administrada por el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), que es el responsable técnico de coordinar, facilitar y supervisar la formulación e implementación del Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, en lo que corresponde a los procesos de estimación, prevención y reducción del riesgo y reconstrucción, así como de asesorar, elaborar y establecer los lineamientos técnicos y mecanismos para el desarrollo adecuado de los referidos procesos por los distintos entes públicos y privados que integran el indicado sistema. Asimismo propone y asesora al ente rector del SINAGERD, sobre el contenido de la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres en los procesos de su competencia y los lineamientos de política del proceso de reconstrucción.

Sin embargo, según Chandes y Pache y tomando como ejemplo el último terremoto ocurrido en nuestro país (Pisco, 15 de agosto 2007) la recepción y transporte de donaciones fueron totalmente improvisados, sin respetarse, muchas veces, los lineamientos descritos por los organismos pertinentes, con presencia de cuellos de botella en las bases de la Fuerza Aérea y los puertos del Callao y Pisco que ocasionaron deterioros y pérdidas de las donaciones; además de que la distribución se realizó de forma aleatoria ocasionando en muchos casos duplicidad de esfuerzos; razón por la cual sugieren una estrecha asociación entre los proveedores e INDECI y ONG's, una asociación fundamental y vital que permita compartir esfuerzos e información.

2.3.1 Gestión del Riesgo de Desastre⁸

INDECI SINADECI, nos indica que la Gestión del Riesgo de Desastre (GRD) se puede definir como el conjunto de decisiones administrativas, de organización y conocimientos operacionales desarrollados por sociedades y comunidades para implementar políticas y estrategias, y para fortalecer sus capacidades, con el fin de

⁸ Terminología INDECI SINADECI

reducir el impacto de amenazas naturales y de desastres ambientales y tecnológicos. Esto puede involucrar muchos tipos de actividades, incluyendo medidas como la construcción de defensas ribereñas para evitar el desbordamiento de un río o por ejemplo, la reglamentación de los terrenos para fines habitacionales para evitar o limitar los efectos adversos de los desastres, las primeras son llamadas medidas estructurales y las segundas no estructurales. La gestión del riesgo del desastre comprende diversas técnicas de gestión, que comprende desde la implementación de políticas y estrategias, hasta la implementación de acciones e instrumentos concretos de reducción y control del impacto que pudiera ocasionar.

El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) identifica cuatro procesos en la gestión del riesgo de desastres para el Sistema Nacional de Defensa Civil (SINADECI):

- a. La estimación del riesgo
- b. La reducción del riesgo
- c. La respuesta
- d. La reconstrucción

a. Estimación del riesgo

Son las acciones y procedimientos que se realizan en un determinado centro poblado con la finalidad de obtener información sobre la identificación de los peligros naturales y/o tecnológicos y analizar las condiciones de vulnerabilidad, para determinar o calcular el riesgo esperado (pérdidas de vidas e infraestructura).

b. Reducción del riesgo de desastres

La reducción del riesgo agrupa las acciones de prevención, disminución de vulnerabilidades y preparación.

La prevención corresponde a las actividades y medidas diseñadas para proporcionar protección permanente contra los efectos de un desastre. Incluye entre otras, medidas de ingeniería (construcciones sismorresistentes, protección ribereña y otras) y de legislación (uso adecuado de tierras y agua, ordenamiento urbano y otras).

La reducción del impacto del desastre requiere también de una adecuada planificación de acciones para las emergencias, el establecimiento de alertas y

ejercicios de evacuación para una respuesta adecuada durante una emergencia o desastre.

c. Respuesta

Son las acciones que se aplican durante la ocurrencia de una emergencia o desastre, a fin de reducir sus efectos. Incluye la evaluación de los daños, la asistencia con techo, abrigo y alimentos a los damnificados y la rehabilitación para la recuperación de los servicios de agua, desagüe, comunicaciones, alimentación y otros, que permitan que se vuelva a la normalidad temporal en el desarrollo de las actividades en la zona afectada por el desastre.

d. Reconstrucción

Después del desastre, viene la fase de reconstrucción (o rehabilitación) que consiste en la recuperación del estado anterior al desastre, tomando en cuenta las medidas de prevención y mitigación necesarias y de acuerdo con las lecciones dejadas por el evento catastrófico. Se trata de reconstruir de manera integral la comunidad afectada de tal modo que las proporciones sean menores en caso ocurriera un evento similar en el futuro.

2.3.2 Etapa de Respuesta⁹

Según el COEN (Centro de Operaciones de Emergencia Nacional), para la entrega de ayuda humanitaria ante un evento catastrófico en el Perú, el Comité de Defensa Civil Local deberá seguir los siguientes pasos:

1. Elaborar el informe preliminar de la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades.
2. Ingresar la Información al SINPAD (Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación) incluyendo la evaluación antes indicada.
3. Solicitar lo que se necesita a la Dirección Regional de Defensa Civil.

⁹ Información obtenida de: Procedimiento para la entrega de Ayuda Humanitaria - COEN

4. Es indispensable elaborar padrones de distribución de ayuda humanitaria que sustentarán su entrega. De esta forma se podrá controlar los bienes a entregar y se considerarán los siguientes casos:
- Cantidad de Damnificados y/o Afectados
 - Artículo (especificar)
 - Documento de Identidad y firma y huella digital (de la persona encargada que recibirá)

La Dirección Regional de Defensa Civil, evaluará los requerimientos, autorizará y dispondrá la atención la que se efectuará de acuerdo al protocolo vigente.

2.3.3. Distribución Ayuda Humanitaria e Insumos Médicos a Suministrar

La OMS (Manual para el Manejo Logístico de suministros humanitarios, 2000) ha preparado algunas listas normalizadas de medicamentos y material médico esenciales para el uso en situaciones de emergencia. El objetivo de este listado es permitir una respuesta rápida y eficaz con suministros que puedan satisfacer necesidades prioritarias. Entre los principales artículos que se encuentran tenemos: analgésicos, antipiréticos, antiinflamatorios noesteroides, antialérgicos, antiinfecciosos (antihelmínticos y antiparasitarios, antibacterianos, antifúngicos, antisépticos, tracto respiratorio, sales de rehidratación oral)

El traslado de la ayuda en esta etapa se puede resumir a través de los siguientes actores principales: donantes y ayuda internacional, almacén de provincia donde ocurrió el desastre (almacenes regionales), almacenes locales o adelantados y finalmente población damnificada. Tal como podemos apreciar en el gráfico a continuación:

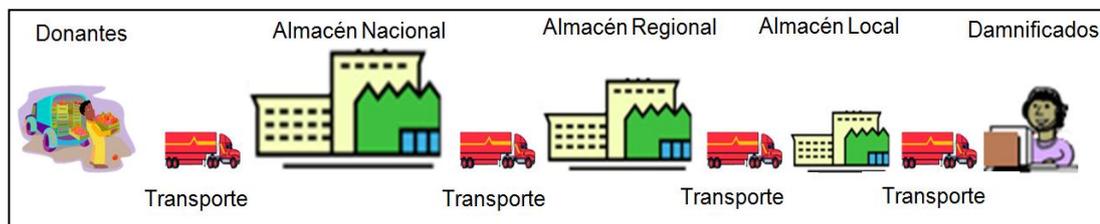


Gráfico 2.4: Cadena de Abastecimiento
Elaboración Propia

Después de realizar el procedimiento antes descrito y cuando el Gobierno Regional declare y sustente que los bienes de ayuda humanitaria se han agotado, la

dirección regional de INDECI que corresponda autorizará la entrega de los bienes al almacén regional. Cabe mencionar que INDECI ha realizado una jerarquización de los Almacenes de Defensa Civil para un mejor ordenamiento en la distribución de la ayuda humanitaria; estos criterios de jerarquización son:

- a. Almacén Nacional: Se encuentran ubicados estratégicamente, cuya función principal es reabastecer los almacenes regionales en caso, la emergencia, supere la capacidad de abastecimiento del gobierno regional.
- b. Almacén Regional: Por lo general ubicados en las capitales de los departamentos o donde decida el Gobierno Regional, acá se encuentran los bienes adquiridos por el Gobierno Regional o suministrados por INDECI a través de sus almacenes nacionales.
- c. Almacén Local: también llamados almacenes adelantados, son espacios físicos lejanos de los almacenes regionales o de difícil acceso cuya finalidad es contener los bienes suministrados por los almacenes regionales y puedan ser suministrados a la población damnificada cuando se necesite.

En el presente trabajo se emplearán las siguientes nomenclaturas a modo de abreviación para los siguientes tipos de almacenes:

- Almacén Central (tipo de almacén nacional): AC
- Almacén de Insumos Médicos (tipo de almacén local): AM,

Cabe mencionar que la coordinación ha seguido siendo la fundamental debilidad de la acción humanitaria (Rey, 2001) y lamentablemente las acciones de Defensa Civil no han podido escapar a esta tajante afirmación. Como se sabe, el transporte después de los desastres es un componente importante de las operaciones logísticas de socorro, lo que es especialmente difícil para los organismos de ayuda humanitaria. Este desafío a superar surge ocasionado por la infraestructura dañada, la limitación en el transporte de recursos y la cantidad de suministros a ser trasladados. (Balcik et al., 2008).

Como se ha mencionado, la asistencia humanitaria para las víctimas es distribuida a través de diversos comités de defensa civil y sobre todo a través del Instituto Nacional de Defensa Civil; sin embargo, en algunas situaciones (como la ocurrida

en la crisis del terremoto en Pisco el 15 agosto del 2007), la defensa civil no puede afrontar adecuadamente lo ocurrido y específicamente no es capaz de satisfacer la totalidad de las necesidades de asistencia de las regiones impactadas. En el terremoto de Pisco, a pesar de la cantidad relativamente pequeña de muertos (aproximadamente 595), la capacidad de respuesta nacional, Según Chandés y Paché (2009), se mostró insuficiente; la cooperación internacional fue necesaria para que la ayuda llegara a las poblaciones afectadas aunque la movilización de la comunidad en los días que siguieron al terremoto fue notable, el campo del manejo de las operaciones fue caótico. Se basaron en el último acontecimiento de gran magnitud ocurrido en Pisco y en la problemática a la que se tiene que enfrentar Defensa Civil ante la ocurrencia de este tipo de desastres y lograron resumirla en los siguientes puntos:

1. Recepción y transporte improvisados, repetidos cuellos de botella en las bases de las Fuerzas Aéreas y los puertos del Callao y de Pisco, lo que originó que los bienes entregados tuvieran lugar a una larga exposición ante el clima y el deterioro.
2. La asistencia fue distribuida de manera aleatoria obteniéndose como resultado: duplicación de esfuerzos. Muchas zonas, que se encontraban más aisladas recibieron apoyo parcial y la distribución de bienes poco apropiados o no aptos.
3. Notable falta de apoyo logístico como equipos de carga descarga, poca disponibilidad de medios de transporte, deficiencias en el almacenamiento y distribución de la asistencia humanitaria.
4. Inexistencia de un sistema informático para hacer el monitoreo y colocar los productos a los largo de la cadena humanitaria de abastecimiento.

Todo esto dificultó la movilización y coordinación con diferentes organizaciones; por lo que recomiendan que se debe expandir de manera temporal la capacidad de las operaciones logísticas y garantizar la obtención y la adecuada distribución, inclusive a las zonas más alejadas.

CAPITULO 3: DISEÑO DE RUTAS ÓPTIMAS 3.1 Lima y Callao

3.1 Vulnerabilidad de la población en Lima y Callao

Según el PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), INDECI y ECHO (Departamento de Ayuda Humanitaria de la Comisión Europea) en la publicación conjunta Proyecto de Preparación ante Desastre Sísmica y/o Tsunami y Recuperación Temprana en Lima y Callao (2011), las evaluaciones del riesgo incluyen una revisión de las características técnicas de las amenazas teniendo en cuenta su ubicación, intensidad, frecuencia y probabilidad de ocurrencia, el grado de exposición y vulnerabilidad.

Vulnerabilidad Socioeconómica: Toma en cuenta diversas variables, como la vulnerabilidad debido a la edad y a las condiciones sociales y económicas. La vulnerabilidad por edad considera a la población más joven (menor a 10 años) y a la población anciana (mayor a 65 años) por su alta necesidad de ayuda. Es por esto que los lugares con mayor concentración de estas personas presentan una vulnerabilidad más alta. La vulnerabilidad económica guarda relación con los servicios urbanos, equipamiento y el contar con una vivienda. La vulnerabilidad social se basa en la antigüedad que tiene una familia asentada en un determinado distrito, ya que una familia recién llegada al lugar presenta una mayor vulnerabilidad en comparación de las personas que se encuentren asentadas allí por mayor tiempo. El estudio del SIRAD también considera a personas con bajo nivel de educación porque tienen menor facilidad en el entendimiento de información sobre la prevención y el modo de actuar ante un desastre natural. (Ver Anexo 1 – Mapa Vulnerabilidad Socioeconómica)

Vulnerabilidad por mala accesibilidad: El difícil acceso a ciertos distritos debido a parámetros como el tráfico ya sea por el día o por la noche reduce la posibilidad de socorrer a la población o de movilizar los recursos para el manejo de la emergencia. (Ver Anexo 2 y 3 – Mapa Vulnerabilidades por Mala Accesibilidad).

Vulnerabilidad por exposición a peligros: Se tuvo en cuenta factores como superficie y población. El estudio realizado por el SIRAD considera también ciertos

factores relacionados a la vulnerabilidad por exposición a peligros como la construcción predominante en muros, la tipología constructiva predominante de viviendas, el estado de conservación y la altura de edificación. Estos parámetros poseen indicadores, (Ver Anexo 4 – Mapa Vulnerabilidad por Exposición a Peligros), los cuales fueron agrupados en el estudio “Diseño de Escenario sobre el Impacto de un Sismo de Gran Magnitud en Lima Metropolitana y Callao, Perú” realizado por el Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES) en el 2009 de la siguiente manera:

Población

A. Densidad Poblacional

Densidad Alta (RDA)	450 - más	Habitantes/ha
Densidad Media-Alta (RDA)	350 - 450	Habitantes /ha
Densidad Media (RDM)	250 - 350	Habitantes /ha
Densidad Media - Baja (RDMB)	150 - 250	Habitantes /ha
Densidad Baja (RDB)	70 - 150	Habitantes /ha

Una densidad media alta es considerada como nivel de vulnerabilidad alto

Vivienda

A. Material de construcción predominante

- Ladrillo o bloque de cemento: Es el material predominante en la ciudad de Lima, su vulnerabilidad presenta un nivel medio. Vulnerabilidad: medio
- Adobe: Material predominante de las viviendas antiguas. Presenta poca resistencia en caso de un sismo. Vulnerabilidad: muy alta
- Madera: Material predominante en zonas de expansión urbana. No es muy vulnerable en caso de sismo, ya que las construcciones de madera presentan solamente un piso. Vulnerabilidad: baja
- Quincha/Estera: Son materiales livianos que por lo general se encuentran en los segundos pisos de edificaciones antiguas. Vulnerabilidad: alta

B. Tipología constructiva de vivienda

Las más preponderantes en Lima Metropolitana y Callao son:

Casa Independiente	Vulnerabilidad: baja
Departamento o edificio	Vulnerabilidad: media
Quinta	Vulnerabilidad: alta
Vivienda Improvisada	Vulnerabilidad: muy alta

C. Estado de conservación de viviendas

Deteriorada: viviendas en mal estado de conservación, con el consiguiente aumento de vulnerabilidad de la infraestructura y del riesgo de los habitantes que la habitan. Vulnerabilidad: Muy alta

En consolidación: Viviendas en proceso de construcción en la periferia de la ciudad, por lo general ocupadas de manera informal, son los llamados asentamientos humanos. Vulnerabilidad media a media alta.

Densificada: Con alta densidad por ser edificios. Su nivel de vulnerabilidad es medio o medio bajo.

Consolidada: Viviendas en barrios residenciales de clase alta, media y media baja. Vulnerabilidad baja.

D. Altura de vivienda

1 piso: Correspondiente a viviendas ubicadas en zonas periféricas de algunos distritos de Lima metropolitana y callao. Vulnerabilidad: baja.

2 pisos: Correspondiente a viviendas ubicadas en distritos con viviendas consolidadas. Vulnerabilidad: media.

3 pisos: Correspondiente a viviendas unifamiliares en proceso de densificación por autoconstrucción, así como viviendas deterioradas y antiguas. Vulnerabilidad: alta.

4 pisos a más: Viviendas en edificios de densidad media alta y alta, en distritos centrales. Vulnerabilidad: Muy alta, teniendo en cuenta que el principal acceso son ascensores.

3.2 Densidad Poblacional

Tabla 3.1. Densidad Poblacional de Lima Metropolitana Censada por Distrito (Hab./Km²).

Distrito	Densidad Poblacional Habitantes/Km ²
Lima	13 625,7
Ancón	1 11,7
Ate	6 153,9
Barranco	10 181,1
Breña	25 437,6
Carabaylo	615,2
Chaclacayo	1 040,8
Chorrillos	7 369,7
Cieneguilla	111,2
Comas	9 989,3
El Agustino	14 375,0
Independecia	14 261,5
Jesus María	14 479,4
La Molina	2 015,2
La Victoria	22 050,8
Lince	18 231,7
Los Olivos	17 432,3
Lurigancho	716,2
Lurín	349,2
Magdalena del Mar	14 062,0
Magdalena Vieja	16 932,4
Miraflores	8 842,5
Pachacamac	427,1
Pucusana	335,8
Puente Piedra	3 281,8
Punta Hermosa	48,2
Punta Negra	40,5
Rímac	1 4841,5
San Bartolo	129,1
San Borja	10 549,8
San Isidro	5 239,3
San Juan deLurigancho	6 845,3
San Juan de Miraflores	15 122,7
San Luis	15 654,4
San Martin de Porres	15 702,0
San Miguel	12 043,6
Santa Anita	17 269,8
Santa María del Mar	77,6
Santa Rosa	507,1
Santiago de Surco	8 333,7
Surquillo	2 5804,3
Villa El Salvador	10 768,8
Villa María del Triunfo	5 363,0

Fuente: INEI (2007)
 Elaboración Propia

Tabla 3.2. Densidad Poblacional del Callao Censada por Distrito (Hab./Km²).

Distrito	Densidad Poblacional Habitantes/Km ²
Callao	9 110,4
Bellavista	16 483,1
Carmen de la Legua - Reynoso	19 746,7
La Perla	22 435,6
La Punta	5 826,7
Ventanilla	3 779,9

Fuente: INEI (2007)
Elaboración Propia

3.3 Escenarios planteados

Según PREDES (2009)¹⁰ el sismo de mayor intensidad, y la situación en la que se basará la presente tesis, se perfilaría con las siguientes características.

Terremoto:

Magnitud: 8,0 Mw

Intensidad máxima: VIII escala Mercally Modificada, entre Lima Metropolitana y Chimbote.

Aceleraciones máximas promedio: 350 – 400 gals.

Epicentro: Frente a lima.

Hipocentro: Profundidad 33km.

Extensión Afectada: Se presupone efectos destructivos restringidos solo a lima metropolitana y la provincia constitucional del callao. Sin embargo un evento real afectaría a los departamentos de Lima, Ancash, Ica, Huánuco, Junín, Pasco, Huancavelica.

3.3 Diseño de Rutas

En el marco del Proyecto de Preparación ante Desastre Sísmico y/o Tsunami y Recuperación Temprana en Lima y Callao, el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) ha desarrollado el Estudio SIRAD, un Sistema Cartográfico de

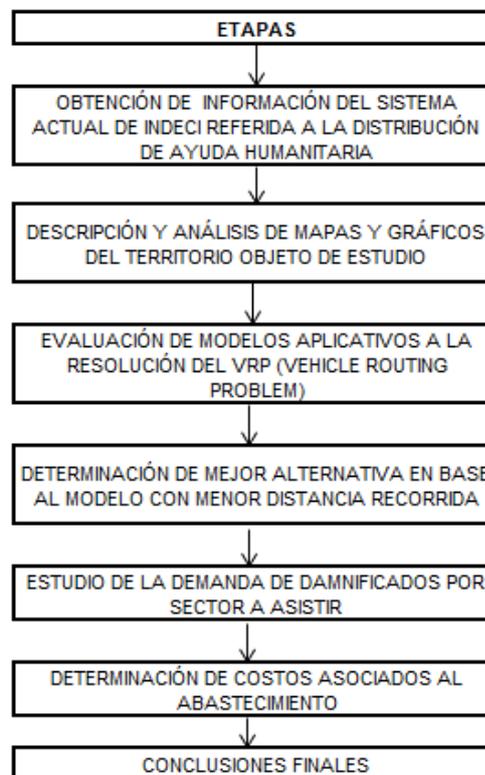
¹⁰ Diseño de Escenario sobre el Impacto de un Sismo de Gran Magnitud en Lima Metropolitana y Callao, Perú 2009.

Información sobre recursos para Atención de Desastres; ésta herramienta muestra información fundamental para el análisis cartográfico mediante la ubicación de centros de abastecimiento, localización de los recursos de emergencias como agua, alimentos, energía, atención médica, transporte, viabilidad, telecomunicaciones, áreas potenciales para albergues o zonas vulnerables y peligro sísmico en los diferentes distritos de Lima y Callao.

La presente Tesis, tomará como punto de partida la información proporcionada por el Visor Cartográfico SIRAD en lo que se refiere a ubicación de almacenes centrales y almacenes médicos, debido a que los insumos salvaguardados por éstos juegan un papel fundamental en la supervivencia en caso de desastres; esta etapa también es conocida como etapa de Respuesta (inmediatamente después de ocurrido el evento) y las primeras acciones a tomar son las de salvamento, búsqueda y rescate suministrando de manera prioritaria los artículos antes descritos.

Los pasos a realizar en el presente trabajo se podrían resumir en los detallados en la siguiente tabla:

Tabla 3.3. Etapas del Diseño de Rutas



Fuente: **Reyes Chávez, Tamayo García y Leyva Zaldívar:** *Procedimiento para el diseño de redes de distribución logística*, en *Contribuciones a la Economía* (2011)
Elaboración Propia

Como se indica en la Tabla 3.3; A continuación se presentará la información necesaria para llevar a cabo las propuestas que se basarán en la aplicación práctica de lo planteado en el marco teórico, además de la aplicación de un Software que, basado en el método de Clasificación Ascendente Jerárquica, permitirá otro agrupamiento de los centros de abastecimiento de la ayuda humanitaria.

3.3.1 Algoritmos empleados y rutas óptimas

El problema de abastecer de suministros desde puntos de acopio a diversos usuarios juega un papel importante en la gestión de los sistemas logísticos y una correcta planificación puede significar considerables ahorros en tiempo y dinero.

Dentro de las Heurísticas Clásicas del VRP, (Vehicle Routing Problem, por sus siglas en inglés) los Métodos de Asignar Primero – Rutear Después y Rutear Primero – Asignar Después son los más aplicados y también los desarrollados en el presente trabajo. Cabe mencionar que las propuestas Asignar Primero, Rutear Después y el de Clasificación Jerárquica Ascendente Jerárquica que también podría considerársele como una aplicación de éste algoritmo, primero arman los clusters para después llegar a una solución con un método determinado.

A continuación se detalla la ubicación de los almacenes centrales y de los almacenes potenciales de insumos médicos.

Tabla 3.4: Ubicación Almacenes Centrales y abreviaciones

	ALMACENES CENTRALES	DISTRITO	LOCALIZACIÓN	ABREVIACIÓN
1	Almacén PRONAA	Callao	Av. Argentina 3017	AC1
2	Almacén CARITAS	Carmen de La Legua Reynoso	Calla Omicron 492	AC2

Tabla 3.5: Ubicación Almacenes de Insumos Médicos

	ALMACENES POTENCIALES DE INSUMOS MEDICOS	DISTRITO	LOCALIZACIÓN	ABREVIACIÓN
1	Almacén ESSALUD	Jesus María	Infomación No disponible	AM1
2	Almacén DISA V RIMAC	Rimac	Pasaje El Aguila S/n Rimac	AM2
3	Almacén CPCED DIRESA Callao	La Perla	La Colina, cdra 9	AM3

4	Almacén DEMID DIRESA Callao	La Perla	Av. Cesar Vallejo s/n cdra 13	AM4
5	Almacén DISA IV	El Agustino	Av. Venezuela cdra 22	AM5
6	Almacén Central MINSA	Lima	Infomación No disponible	AM6
7	Almacén DISA II	Chorrillos	Calle A Mz. 2 Lt. 3 Asoc. Victor Raul H. Torre	AM7
8	Almacén Red Tupac Amaru	Independencia	Las Praderasde Pariachi Mz. A Lte 13 Huaycan	AM8
9	Almacén Huaycan	Ate	Av. Lurigancho cdra9 s/n Mz V Lte. 49	AM9
10	Almacén San Juan de Lurigancho	San Juan de Lurigancho	Jr. Salaverry s/n AA.HH Aeropuerto	AM10
11	Contenedor Aeropuerto	Callao	Mz F-5 zona 2, Ciudad del Pescador	AM11
12	Contenedor Bellavista	Bellavista	Jr. Huascarán N 512 La Victoria Lima	AM12
13	Almacén DISA V La Victoria	La Victoria	Av. Alfredo Palacios cdra 5	AM13
14	Contenedor Santa Fe	Callao	Av Central s/n, AA.HH Ventanilla Alta	AM14
15	Contenedor Ventanilla Alta	Ventanilla	Av. Pedro Beltrán cdra 3-urb Satellite	AM15
16	Contenedor H de Ventanilla	Ventanilla	Parque 17 k-12 y k-13, AA.HH Angamos	AM16
17	Contenedor Angamos	Ventanilla	Av. Huaura s/n, AA.HH Angamos	AM17
18	Contenedor MI PERU	Ventanilla	Av. Huaura s/n, AA.HH Mi Peru	AM18
18	Contenedor Villa los Reyes	Ventanilla	Mz N-1 Sc. Adelante (Km 37.5 Panamá. Norte)	AM19
20	Contenedor Luis Felipe de las Casas	Ventanilla	AA.HH Luis Felipe de las Casas Km 39 Panamá. Norte	AM20
21	Contenedor 03 de Febrero	Ventanilla	Proyecto ciudad Pachacutec	AM21
22	Contenedor Facucett	Callao	Ca 3s/n urb. Faucet	AM22
23	Contenedor Sesquicentenario	Callao	Alt. Cuadra 7 y 15, Urb Sesquicentenario	AM23
24	Contenedor Bocanegra	Callao	AA.HH Bocanegra, Plaza Civica	AM24
25	Contenedor Gambetta Baja	Callao	Av. Jose Gálvez y Santa Rosa	AM25
26	Contenedor Villa Sr. De los Milagros	Carmen de la Legua	PJ Villa Sr de los Milagros, alt cuadra 60 Av. Argentina	AM26
27	Almacén Fospoli	Jesus Maria	La Marina / Brasil	AM27

Fuente: Visor Cartográfico SIRAD (2014)

Elaboración propia

A partir de ahora, se denominarán a los almacenes por las abreviaciones indicadas en las Tablas 3.4 y 3.5, según corresponda.

Según INDECI, Lima Metropolitana y el Callao pueden dividirse en relación a 4 niveles dependiendo de su tipo de vulnerabilidad (Ver Tabla 3.5). Empleando esta tabla y el Gráfico 3.1 obtenemos la Tabla 3.6 donde los almacenes se encuentran sobre zonas con la vulnerabilidad sísmica que le corresponde (se entiende que mientras más alta sea la vulnerabilidad sísmica en la que se encuentren, mayor será la probabilidad de impacto en caso de un terremoto).

Tabla 3.6. Niveles de Vulnerabilidad Sísmica

Vulnerabilidad	
Baja	
Relativamente Baja	
Alta	
Muy Alta	

Fuente: INDECI (2012)
Elaboración Propia

Tabla 3.7 Almacenes de Insumos Médicos identificados con color asociado a su vulnerabilidad sísmica.

AM1	AM7	AM13	AM19	AM25
AM2	AM8	AM14	AM20	AM26
AM3	AM9	AM15	AM21	AM27
AM4	AM10	AM16	AM22	
AM5	AM11	AM17	AM23	
AM6	AM12	AM18	AM24	

Fuente: INDECI (2014)
Elaboración Propia

El criterio que se aplicará para identificar cual Almacén Central (1 ó 2) abastecerá a los almacenes de insumos médicos radicará en la menor distancia recorrida desde cada almacén central al punto de acopio; es decir, si la distancia del Almacén Central 2 (AC2) a AM1 es menor que la distancia del Almacén central 1 (AC1) al AM1, entonces el Almacén Central 2 abastecerá a AM1.

Tabla 3.8. Distancias desde Almacenes Centrales a cada almacén de insumos médicos

ALMACÉN DE INSUMOS MÉDICOS	DISTANCIA (En Km)		ALMACÉN QUE ABASTECE
	AC1	AC2	
AM1	9.03	6.29	AC2
AM2	8.39	6.06	AC2
AM3	2.06	4.32	AC1
AM4	1.77	4.16	AC1
AM5	13.09	10.21	AC2
AM6	5.78	2.75	AC2
AM7	14.44	12.54	AC2
AM8	10.35	8.48	AC2
AM9	30.97	28.32	AC2
AM10	12.81	9.93	AC2
AM11	2.68	2.44	AC2
AM12	2.04	1.92	AC2
AM13	9.38	6.43	AC2
AM14	1.04	4.07	AC1
AM15	19.78	19.82	AC1
AM16	19.71	20.04	AC1
AM17	17.44	18.14	AC1
AM18	21.58	21.82	AC1
AM19	24.37	24.8	AC1
AM20	24.87	25.26	AC1
AM21	22.87	23.43	AC1
AM22	5.87	6.83	AC1
AM23	4.93	4.6	AC2
AM24	3.07	3.09	AC1
AM25	1.13	5.36	AC1
AM26	3.51	0.757	AC2
AM27	7.2	4.96	AC2

Fuente: Visor Cartográfico SIRAD

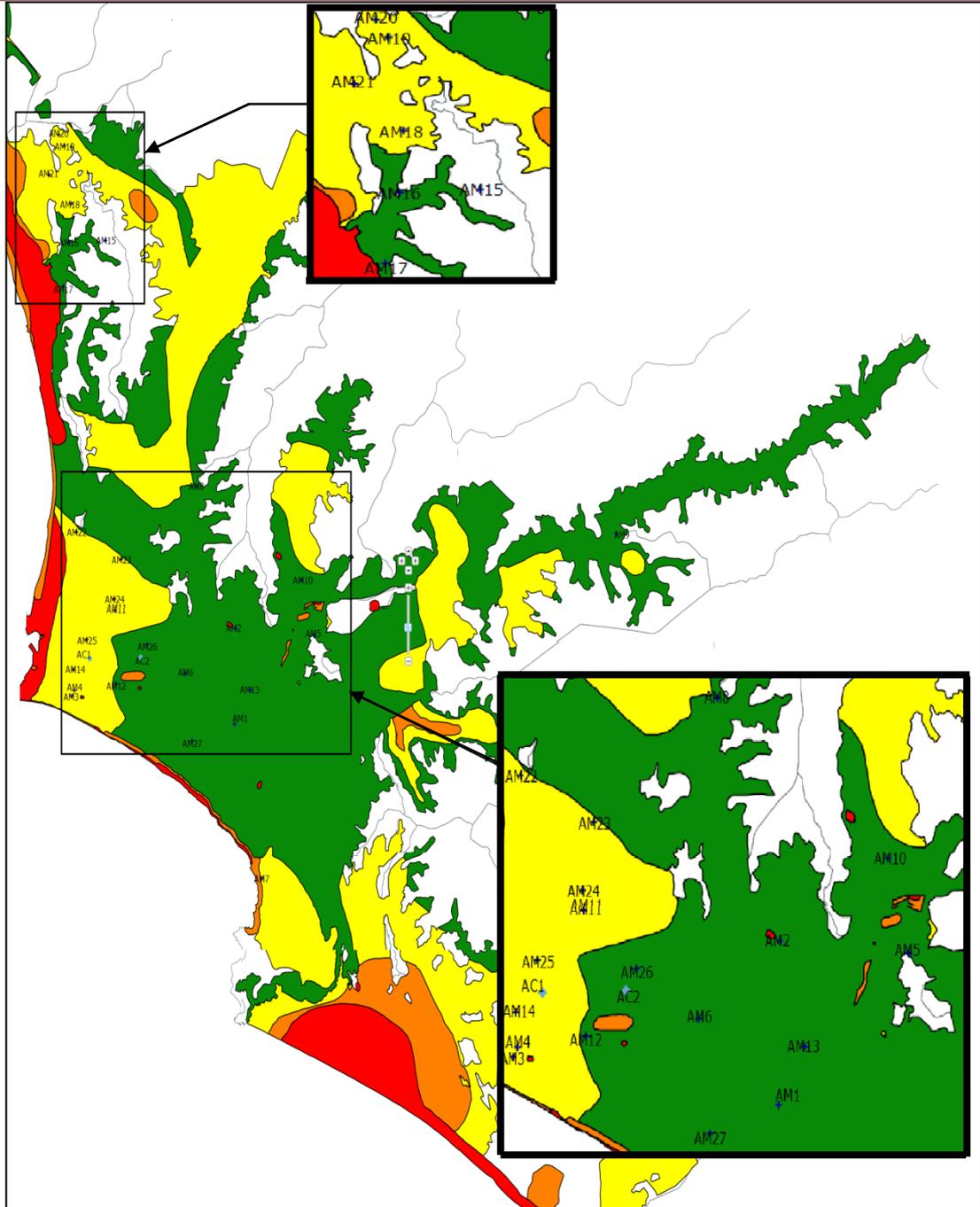


Gráfico 3.1: Ubicación Almacenes de Insumos Médicos

3.3.2 Propuesta 1: Asignar Primero – Rutear Después (Por cercanía de Puntos)

Se comenzará por agrupar los puntos teniendo en cuenta su cercanía, el almacén central que los abastece (AC1 o AC2) y la vulnerabilidad sísmica en la que se

encuentran (Baja, Relativamente Baja, Alta o Muy Alta), luego se creará una ruta que visite a todos los puntos de los nuevos clusters creados aplicando el Método de Clark y Wright (también conocido como el Método del Ahorro).

La agrupación de los puntos de acopio aplicando el método de cercanía entre puntos se muestra en la siguiente tabla y los colores están asociados teniendo en cuenta la tabla 3.5:

Tabla 3.9. Puntos de acopio por cada cluster

CLUSTER 1		CLUSTER 4	
Abastece: AC1		Abastece: AC2	
AM20	AM21	AM8	
AM19	AM18	AM23	
		AM11	
		AM26	

CLUSTER 2		CLUSTER 5	
Abastece: AC1		Abastece: AC2	
AM16	AM17	AM6	AM7
AM15		AM27	AM12
		AM1	
		AM13	

CLUSTER 3		CLUSTER 6	
Abastece: AC1		Abastece: AC2	
AM25	AM22	AM2	
AM14	AM24	AM5	
AM4		AM10	
AM3		AM9	

Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración Propia

Como podemos observar, el Cluster 1 está conformado por 4 almacenes, el Cluster 2 por 3 Almacenes, el Cluster 3 por 6, el Cluster 4 por 4, el Cluster 5 por 6 y por último, el Cluster 6 por 4 almacenes. Además notamos, como se mencionó, que se agrupó teniendo en cuenta la vulnerabilidad sobre la que se ubican; por lo que cada cluster no solo está representado por los puntos de acopio más cercanos entre sí, sino también por aquellos que presentan la misma vulnerabilidad sísmica, a excepción de los clusters 4 y 5 que presentan puntos de acopio con dos tipos de vulnerabilidades, esto debido a que a pesar de que se buscó de que los puntos que no estaban asociados con una misma vulnerabilidad pertenecieran a otro grupo en

el que sí, también era necesario cumplir con el requisito preponderante de la mayor cercanía entre los mismos.

Ahora se procederá a aplicar el Método de Clark y Wright en el Cluster 3 identificado (Ver Gráfico 3.2). Se escogió este cluster debido a que presenta menores puntos de acopio y facilitará el entendimiento del procedimiento realizado,; se tomará como ejemplo y se procederá con la misma metodología para el resto de clusters, de los cuales solo se mostrarán los resultados obtenidos (Ver Anexo 6).

Tabla 3.10. Matriz de Distancias – Cluster 3

	AM25	AM14	AM4	AM3	AM22	AM24
AM25		1.62	2.58	2.79	4.99	2.44
AM14	1.62		0.97	1.26	6.46	4.06
AM4	2.58	0.97		0.32	7.40	4.80
AM3	2.79	1.26	0.32		7.65	5.10
AM22	4.99	6.46	7.40	7.65		3.89
AM24	2.44	4.06	4.80	5.10	3.89	

Elaboración Propia

Seguidamente se presentan las distancias desde los puntos de acopio hasta el Almacén Central que los abastece:

Tabla 3.11: . Distancias de Almacén Central 1 a Puntos de Acopio - Cluster 3

CLUSTER 3 - ALMACÉN CENTRAL 1	
Puntos	Distancia en Km (Dij)
AM3	2.06
AM4	1.77
AM14	1.04
AM15	19.78
AM16	19.71
AM17	17.44
AM18	21.58
AM19	24.37
AM20	24.87
AM21	22.87
AM22	5.87
AM24	3.07
AM25	1.13

Elaboración propia

Donde D_{ij} = Distancia de i a j , i = almacén central 1 ó 2, según corresponda y j = almacén de insumos médicos, según corresponda. Como siguiente paso se

presentará la Matriz de Ahorros, basado en el procedimiento matemático expuesto en los capítulos anteriores.

Tabla 3.12: Matriz de Ahorros – Cluster 3

	AM25	AM14	AM4	AM3	AM22	AM24
AM25		0.55	0.32	0.40	2.01	1.76
AM14	0.55		1.85	1.84	0.45	0.05
AM4	0.32	1.85		3.51	0.24	0.04
AM3	0.40	1.84	3.51		0.28	0.03
AM22	2.01	0.45	0.24	0.28		5.05
AM24	1.76	0.05	0.04	0.03	5.05	

Elaboración Propia

En la matriz de ahorros obtenida, los puntos a considerar en la elaboración de la ruta óptima se encuentran de color rojo y los que no han sido considerados por no cumplir las restricciones del método (por generación de sub rutas o concluir la ruta antes de cumplir con la unión de todos los puntos) se encuentran de color blanco.

$$S_{AB} = D_{OA} + D_{OB} - D_{AB}$$

Donde: S_{AB} = Ahorro entre puntos A y B
 D_{OA} = Distancia desde Almacén Central hasta punto A
 D_{OB} = Distancia desde Almacén Central hasta punto B
 D_{AB} = Distancia entre puntos A y B

Iteración N°1

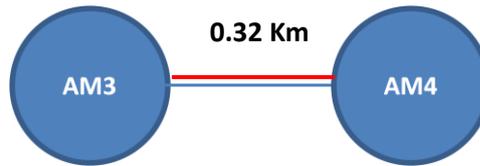
Primero, se identifica el **mayor** ahorro generado, en este caso, según la Tabla 3.11: Matriz de Ahorros – Cluster 3, es el valor comprendido entre los puntos de acopio AM24 y AM22: **5.05 Km**, luego se unen los dos puntos considerando la distancia recorrida entre ellos.



Iteración N°2

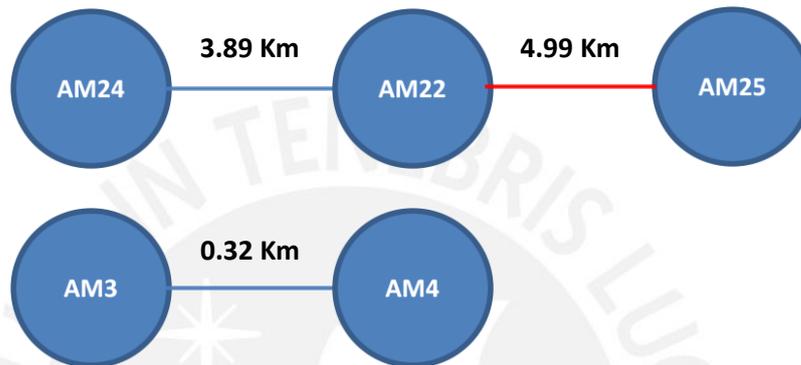
Se procede a identificar el segundo mayor ahorro. Es el valor comprendido entre AM3 y AM4: **3.51 Km**.





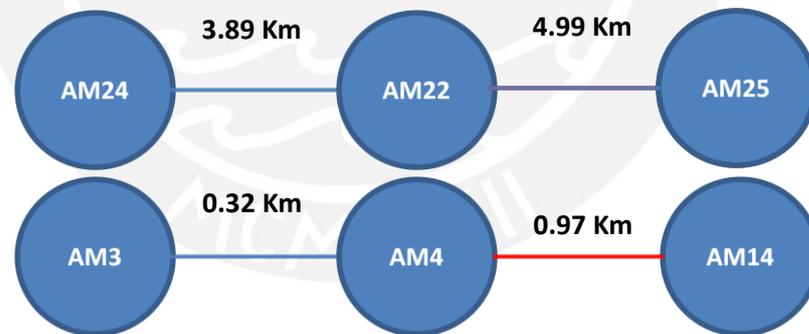
Iteración N°3

Ahora se identifica el siguiente mayor ahorro. Que es el valor comprendido entre AM22 y AM25: **2.01 Km**



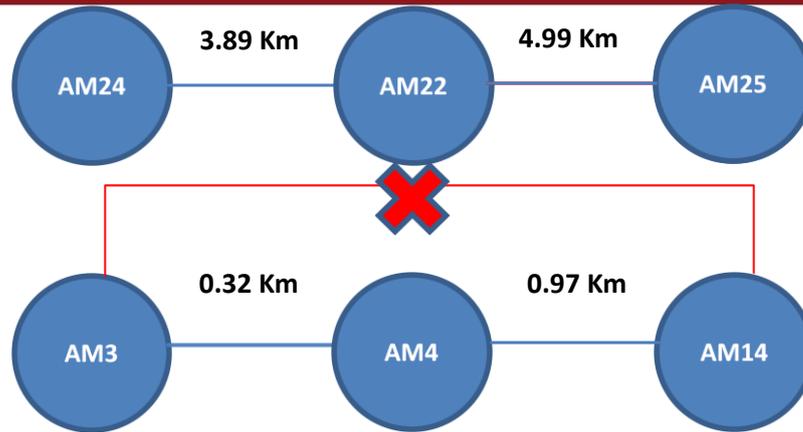
Iteración N°4

El siguiente mayor ahorro es el valor comprendido entre AM14 y AM4: **1.85 Km**



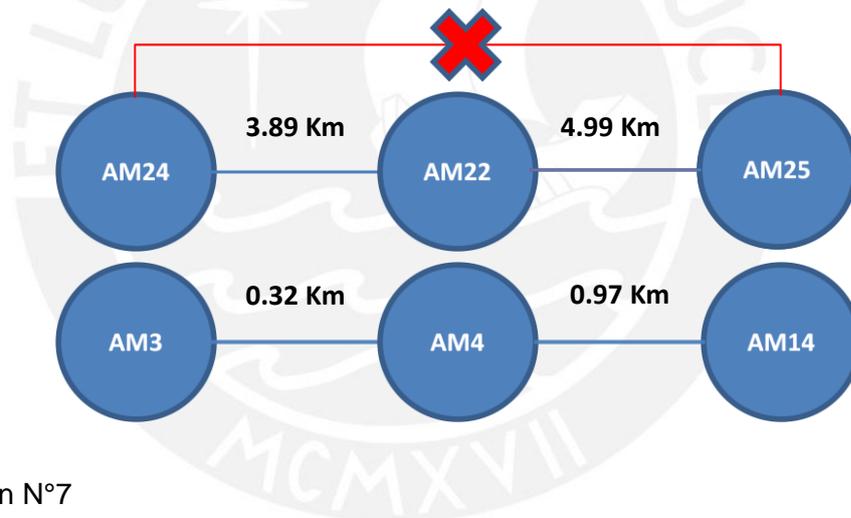
Iteración N°5

El valor identificado como mayor ahorro es el comprendido entre AM3 y AM14: **1.84 Km**, pero en este caso observamos que si uniéramos ambos puntos de acopio se originaría la creación de una sub-ruta y no se llegaría a visitar a todos los puntos de acopio en el cluster. Por consiguiente se omite esta interacción



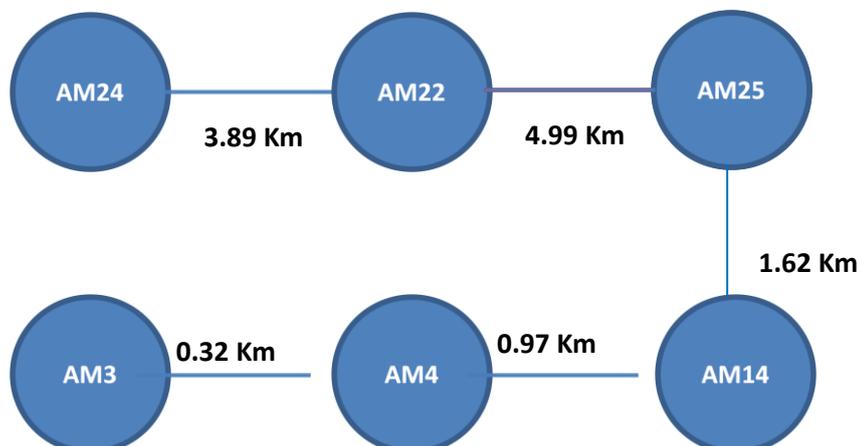
Iteración N°6

Ahora el nuevo valor que se debería considerar es el comprendido entre los puntos de acopio AM14 y AM25: **1.76 Km**, pero notamos que ocurre lo mismo que lo descrito anteriormente: la generación de una sub-ruta. Se omite esta interacción y se prosigue con el procedimiento.



Iteración N°7

Por último, el siguiente valor que representa el mayor ahorro es el que corresponde a AM25 Y AM14: **0.55 Km**



Notamos que al realizar esta interacción se logran visitar todos los puntos de acopio por lo que la asignación de la ruta mediante este algoritmo, para esta cluster, llegó a su fin.

Ruta final: AC1 - AM24 – AM22 – AM25 – AM14 – AM4 –AM3 - AC1
 $3,07 + 3,89 + 4,99 + 1,62 + 0,97 + 0,32 + 2,06 = 16,92 \text{ Km}$

Por proceder de igual forma en la aplicación del algoritmo del ahorro para el resto de clusters y las propuestas faltantes se opta por obviar las iteraciones, pudiéndose encontrar un procedimiento detallado en el Anexo 6.

- Ruta Óptima Cluster 3:

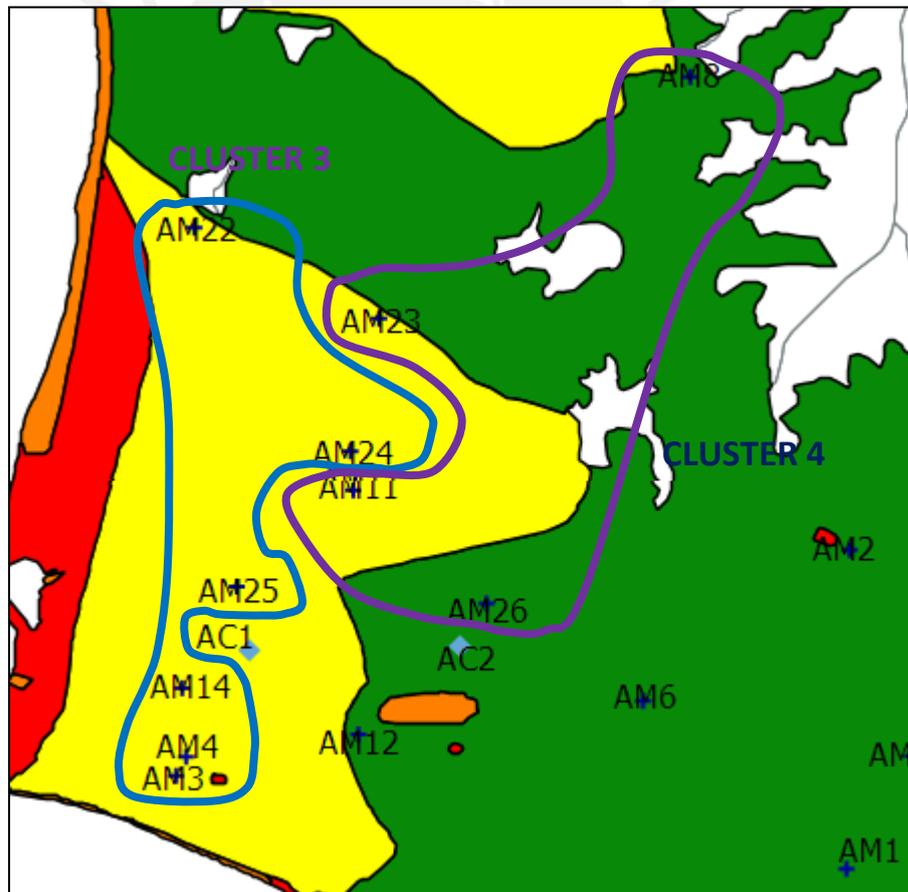


Gráfico 3.2: Puntos de acopio que conforman Cluster 3
 Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
 Elaboración Propia

AC1 – AM24 – AM22 – AM25 – AM14 – AM4 – AM3 - AC1

$$3,07 + 3,89 + 4,99 + 1,62 + 0,97 + 0,32 + 2,06 = 16,92 \text{ Km}$$

Como se mencionó se procederá de manera similar para el resto de clusters, razón por la cual solo se mostrarán los resultados finales:

- Ruta Óptima Cluster 1:

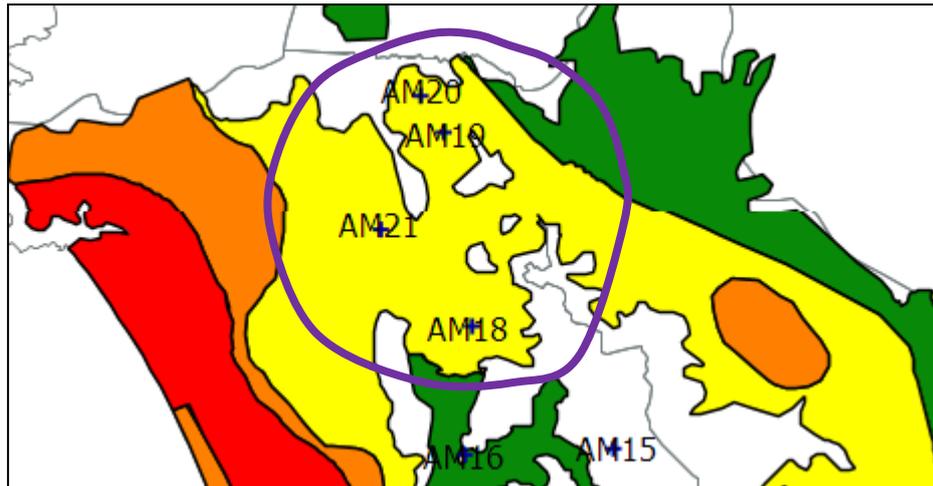


Gráfico 3.3: Puntos de acopio que conforman Cluster 1
Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración Propia

AC1 – AM20 – AM19 – AM21 – AM18 – AC1

$$24,87 + 0,68 + 1,69 + 1,87 + 28,87 = 57,98 \text{ Km}$$

- Ruta Óptima Cluster 2:

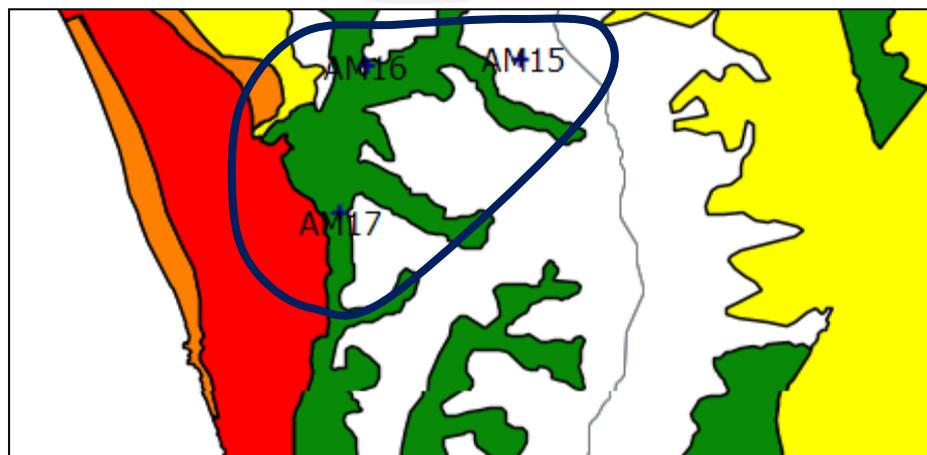


Gráfico 3.4: Puntos de acopio que conforman Cluster 3
Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración Propia

AC1 - AM15 - AM16 - AM17 - AC1

$$19,78 + 2,1 + 2,13 + 17,44 = 41,45 \text{ Km}$$

- Ruta Óptima Cluster 4:

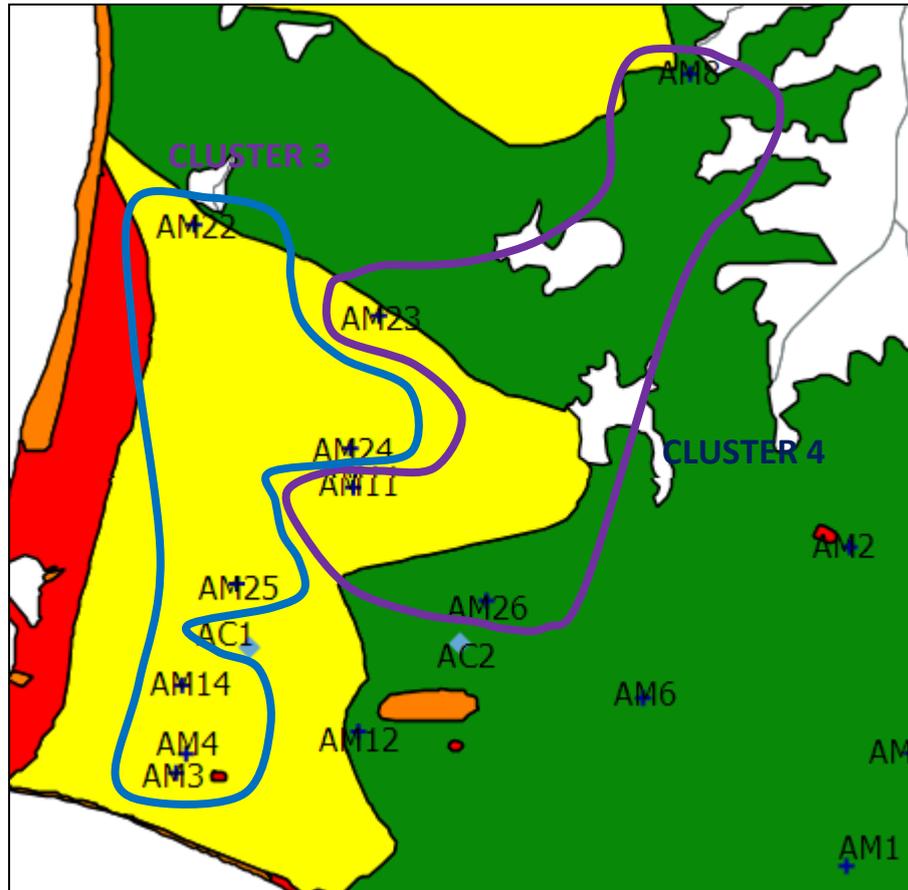


Gráfico 3.5: Puntos de acopio que conforman Cluster 4
Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración Propia

AC2 – AM26 – AM8 – AM23 – AM11 – AC2

$$0.76 + 7.91 + 5.5 + 2.4 + 2.44 = 19.01 \text{ Km}$$

- Ruta Óptima Cluster 5:

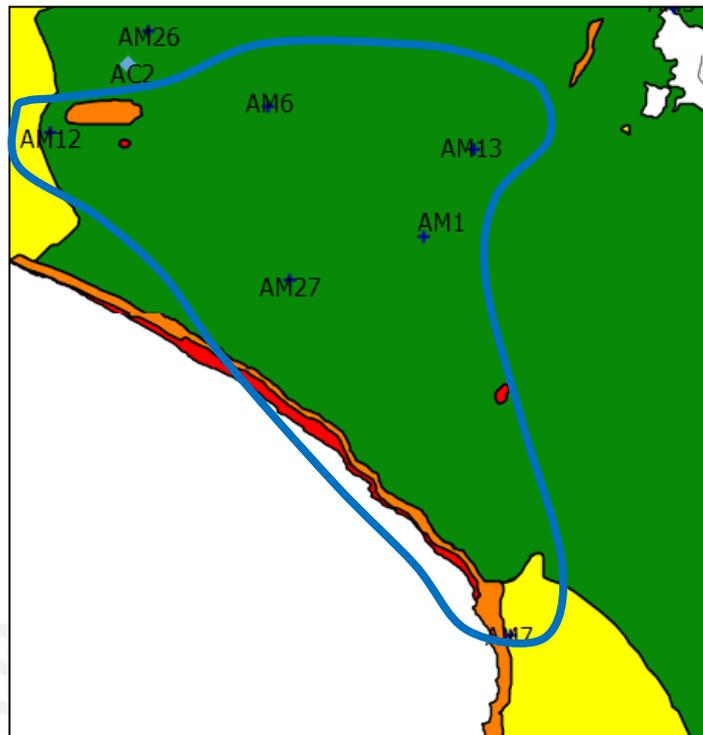


Gráfico 3.6: Puntos de acopio que conforman Cluster 5

Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración Propia

AC2 – AM12 – AM27 – AM7 – AM1 – AM13 – AM6 – AC2

$$1,92 + 5,16 + 7,7 + 7,54 + 1,9 + 3,89 + 2,75 = 30,86 \text{ Km}$$

- Ruta Óptima Cluster 6:

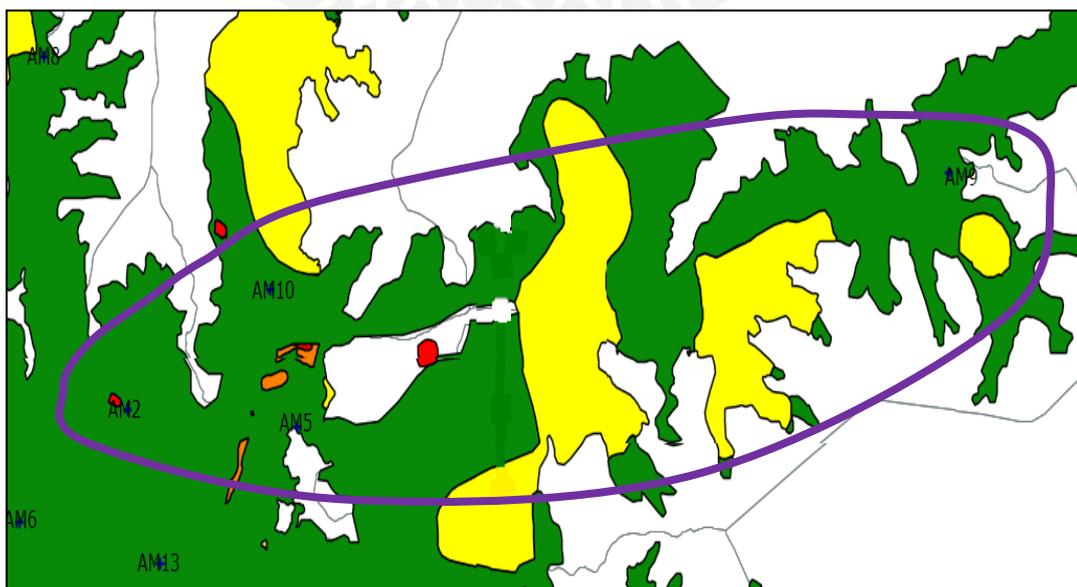


Gráfico 3.7: Puntos de acopio que conforman Cluster 6

Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración Propia

AC2 – AM2 – AM5 – AM9 – AM10 – AC2

$$6.06 + 4.58 + 18.14 + 18.37 + 9.93 = 57.08 \text{ Km}$$

Es importante mencionar que las rutas no consideraran sentido de las calles ni tráfico.

Entre las ventajas de esta propuesta podemos mencionar que es relativamente sencilla de aplicar, lo que reduciría tiempo del procesamiento de la estrategia de distribución de la ayuda humanitaria. Con este método se evita que los vehículos retornen a puntos cercanos para envío de la ayuda humanitaria. Podría ser eficientemente aplicable en desastres ocurridos en conglomerados de poblaciones que guarden distancias relativamente cortas entre sí, siempre y cuando estas distancias sean lo suficientemente significativas para poder realizar una clusterización basada en cercanía.

Entre las desventajas del método se encuentran en que los puntos abastecidos por cercanía de puntos no son necesariamente los que necesitan con mayor prioridad la ayuda humanitaria y que el fallo de la ruta por bloqueo o tráfico podría influir en la clusterización, ya que ésta se debería basar en distancias reales y no en distancias euclidianas; por lo que no sería recomendable aplicar cuando las rutas quedan totalmente inaccesibles.

A continuación se procederá con la resolución de la problemática planteada, teniendo en cuenta los mismos clusters, con la diferencia que en esta ocasión de se resolverán a través del método de programación lineal (en lugar del algoritmo del ahorro) empleando el Software Lindo 6.1.¹¹

Para la Cluster 1, se realizó el siguiente planteamiento:

```
`Función Objetivo:
MIN 21.58xo20+24.37xo21+24.87xo19+22.87xo18+
    2.03x2021+0.68x1920+3.49x1820+
    1.69x1921+1.87x1821+
    2.89x1819
```

```
`Restricciones:
S.T.
    xo20 + xo21 + xo19 + xo18 = 2
    xo20 + x2021 + x1920 + x1820 = 2
    xo21 + x2021 + x1921 + x1821 = 2
    xo19 + x1920 + x1921 + x1819 = 2
```

¹¹ Software para construcción y solución de modelos lineales y enteros. Descarga de <http://www.lindo.com/>

```

x018 + x1819 + x1821 + x1820 = 2
end
int 10
    
```

El reporte que presenta el Lindo es el siguiente:

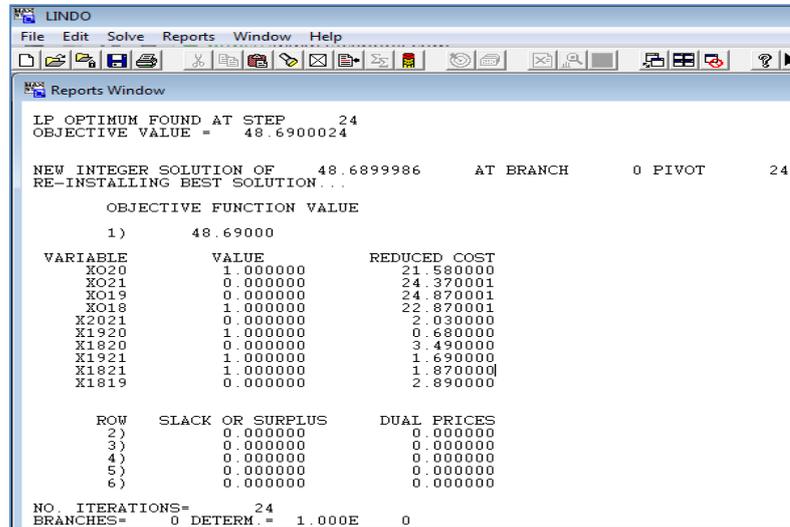


Gráfico 3.8: Método Cercanía de Puntos empleando PPL

Podemos observar que la ruta establecida, definida por el valor 1 en la columna *value* que toma cada variable, es la siguiente:

$$AC1 - AM20 - AM19 - AM21 - AM18 - AC1$$

Observamos que obtenemos la misma ruta. Se procede de manera similar para el resto de clusters y, para este caso, los resultados obtenidos fueron los mismos que los obtenidos empleando la resolución a través del método del ahorro.

A continuación se presenta el resumen de los resultados obtenidos mediante la aplicación del Método por Cercanía de Puntos aplicando posteriormente el algoritmo de Clark y Wright o Programación Lineal.

Tabla 3.13: Resumen Dimensionamiento de Rutas - Método Cercanía de Puntos

PROPUESTA 1	RUTA	DIST. IDEAL (Km)
Asignar Primero – Rutear Después (Por cercanía de Puntos)	AC1 - AM20 - AM19 - AM21 - AM18 - AC1	57.98
	AC1 - AM15 - AM16 - AM17 - AC1	41.45
	AC1 - AM24 - AM22 - AM25 - AM14 - AM4 - AM3 - AC1	16.92
	AC2 - AM26 - AM8 - AM23 - AM11 - AC2 -	19.01
	AC2 - AM12 - AM27 - AM7 - AM1 - AM13 - AM6 - AC2	30.86
	AC2 - AM5 - AM9 - AM10 - AM2 - AC2	57.08
		223.30

Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración propia

3.3.3 Propuesta 2: Asignar Primero – Rutear Después (Método del Barrido)

El Método del Barrido consiste en agrupar los puntos de acopio teniendo en cuenta el menor ángulo que conforman con el almacén central de ayuda humanitaria que los abastece. Una vez creadas las nuevas clusters, considerando también el almacén que los alimenta y la vulnerabilidad de la zona donde se encuentran localizados, se procedió a aplicar nuevamente el algoritmo de Clark y Wright obteniéndose nuevas rutas y resultados.

Se tomó como punto de partida el Almacén Central que abastecerá al resto de puntos de acopio teniendo en cuenta un ángulo de 0° conformado con la horizontal hasta llegar a una rotación de 360° en sentido antihorario.

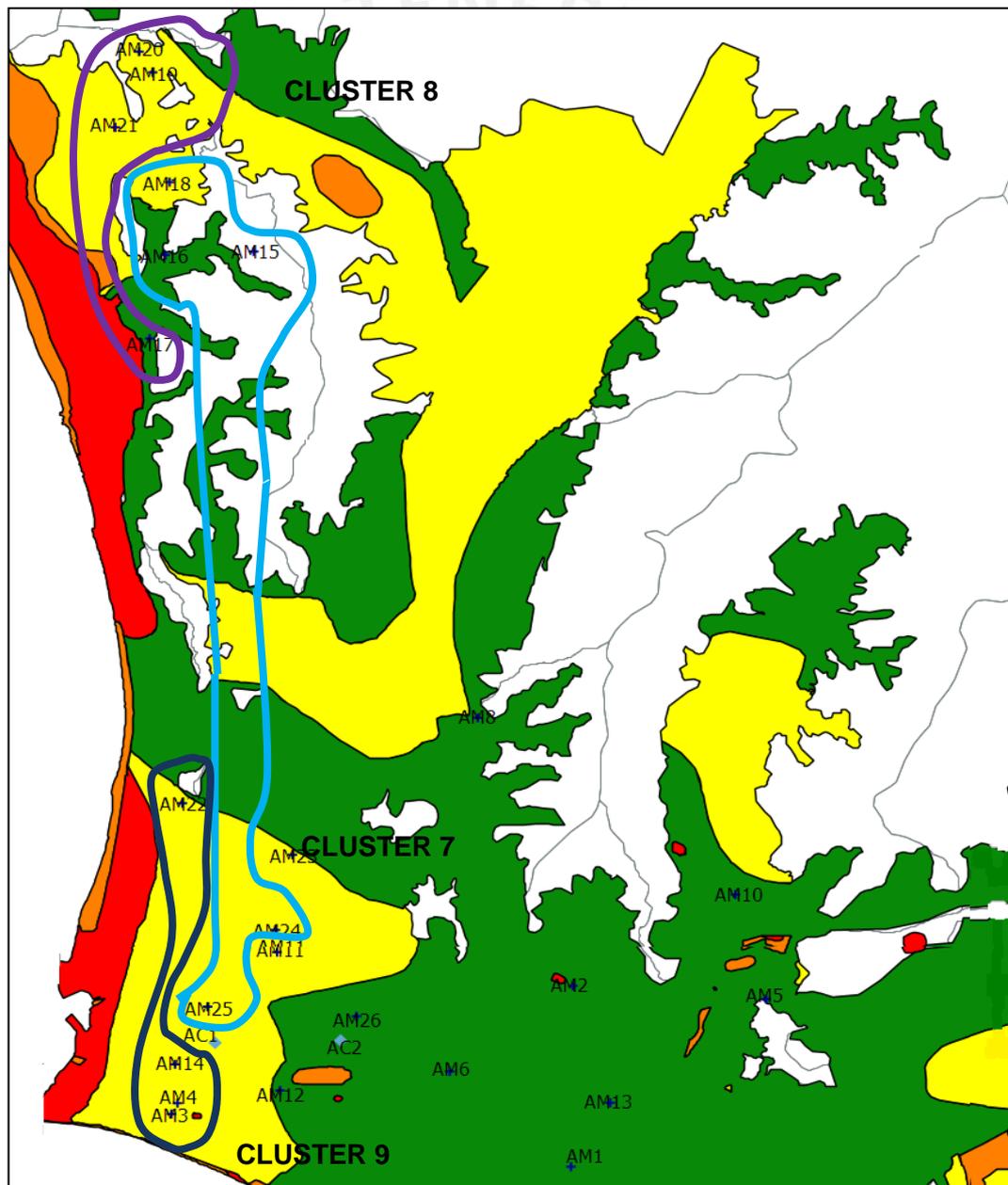


Gráfico 3.9: Puntos de acopio abastecidos por AC1 – Método del Barrido
Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración propia

Tabla 3.16: Matriz Ahorros – Cluster 7

	AM24	AM25	AM15	AM18	AM16
AM24		1.76	5.82	5.73	5.67
AM25	1.76		2	2.09	1.94
AM15	5.82	2		38.7	37.39
AM18	5.73	2.09	38.7		39.43
AM16	5.67	1.94	37.39	39.43	

Elaboración Propia

Por proceder de la misma manera solo se mostrarán las rutas y distancias obtenidas en las siguientes clusters (Ver Anexo 6).

- Ruta Óptima Cluster 8:

AC1 – AM17 – AM19 – AM20 – AM21 – AC1

$$17,44 + 6,33 + 0,68 + 2,03 + 22,87 = 49,35 \text{ Km}$$

- Ruta Óptima Cluster 9:

AC1 – AM22 – AM14 – AM3 – AM4 – AC1

$$5,87 + 6,46 + 1,26 + 0,32 + 1,77 = 15,68 \text{ Km}$$

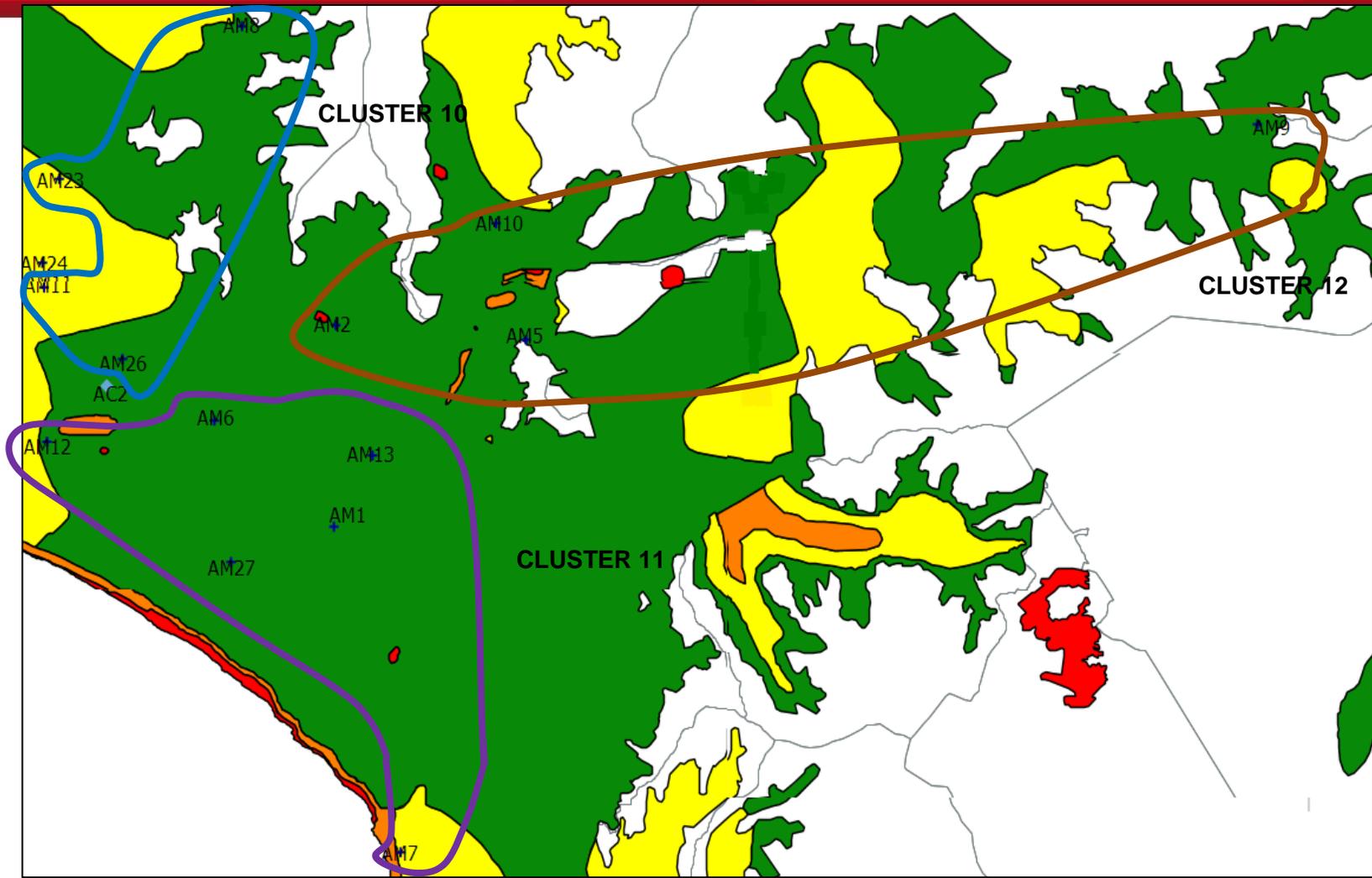
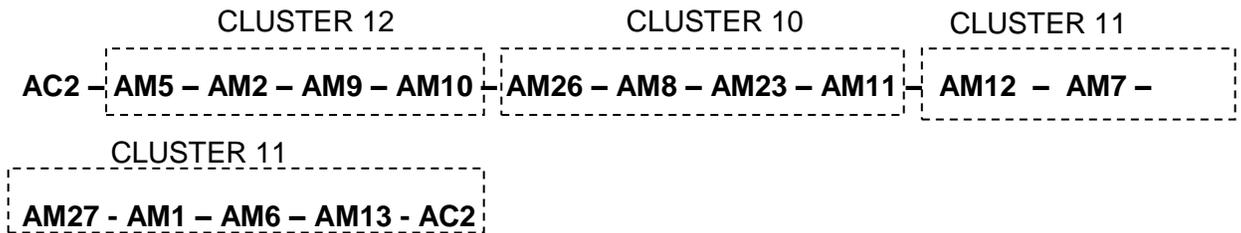


Gráfico 3.10: Puntos de acopio abastecidos por AC2 – Método del Barrido
Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración propia

- Ruta Óptima Almacén Central 2:



Al proceder con la asignación de las nuevas clusters se intentó mantener la proporcionalidad entre la cantidad de puntos de acopio en cada cluster por lo que se obtuvieron los siguientes resultados:

- Ruta Óptima Cluster 10:

AC2 – AM11 – AM23 – AM8 - AM26 – AC2

$$2,44 + 2,40 + 5,5 + 7,91 + 0,757 = 19,01 \text{ Km}$$

- Ruta Óptima Cluster 11:

AC2 – AM6 – AM13 – AM1 – AM7 – AM27 – AM12 – AC2

$$2,75 + 3,89 + 1,9 + 7,54 + 7,7 + 5,16 + 1,92 = 30,86 \text{ Km}$$

- Ruta Óptima Cluster 12:

AC2 – AM2 – AM5 – AM9 – AM10 – AC2

$$6,06 + 4,58 + 18,14 + 18,37 + 9,93 = 57,08 \text{ Km}$$

Cabe mencionar que las distancias obtenidas no consideraran el sentido de las calles ni tráfico.

De la misma manera que en la propuesta 1, se procederá con la resolución del caso planteado, teniendo en cuenta los mismos clusters, pero ahora en lugar de la aplicación del algoritmo del ahorro se empleará nuevamente la programación lineal a través de Lindo 6.1. Como ejemplo se tomará la Cluster 7 de esta propuesta debido a que presenta una particularidad importante: presentación de sub-rutas y se tendrán que incluir ecuaciones adicionales para evitarlas.

Para la Cluster 7, se realizó el siguiente planteamiento:

Función Objetivo:

```
MIN    3.07xo24 + 19.78xo15 + 21.58xo18 + 19.71xo16 + 1.13xo25 +
        17.03x1524 + 18.92x1824 + 17.11x1624 + 2.44x2425 +
        2.66x1518 + 2.1x1516 + 18.91x1525 +
        1.86x1618 + 20.62x1825 +
        18.9x1625
```

Restricciones:

s. t.

```
xo24 + xo15 + xo18 + xo16 + xo25 = 2
xo24 + x1524 + x1824 + x1624 + x2425 = 2
xo15 + x1524 + x1518 + x1516 + x1525 = 2
xo18 + x1824 + x1518 + x1618 + x1825 = 2
xo16 + x1624 + x1516 + x1618 + x1625 = 2
xo25 + x2425 + x1525 + x1825 + x1625 = 2
xo15 + xo16 + xo18 + x1524 + x1624 + x1824 + x1525 + x1825 + x1625 >= 1
```

```
end
int 15
```

El informe Lindo 6.1 es el siguiente:

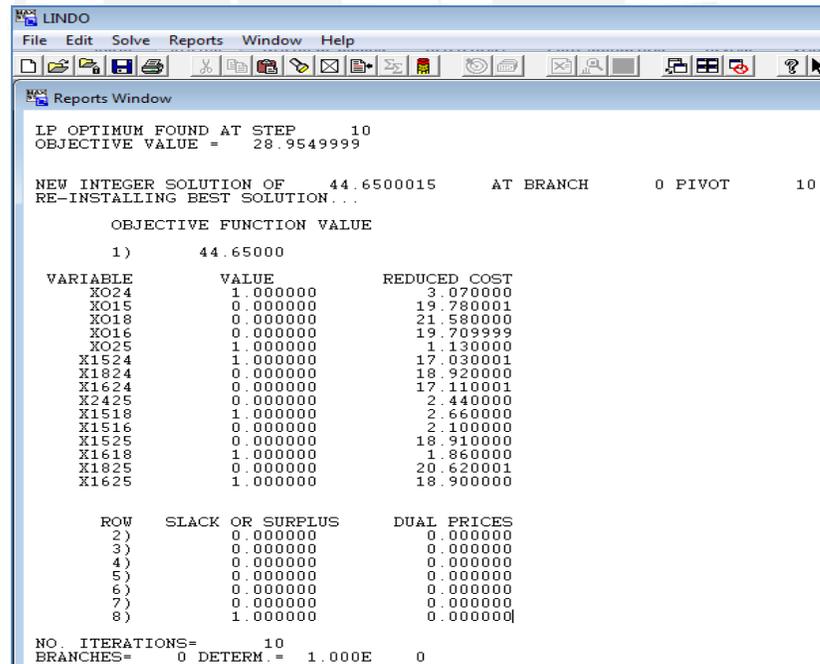


Gráfico 3.11: Método del Barrido empleando PPL

Podemos observar que la ruta obtenida coincide nuevamente con la obtenida a través del método del ahorro:

AC1 – AM24 – AM15 – AM18 – AM16 – AM25 - AC1

Para el resto de clusters establecidos se obtuvieron las mismas rutas a través del método de programación lineal.

Cabe mencionar que este método de ruteo de vehículos es simple y permite manejar cálculos inclusive para problemas de gran tamaño, es bien aplicado cuando todos los vehículos tienen teóricamente la misma capacidad y cuando no hay restricciones de tiempo en los recorridos; sobre todo en las etapas de Rehabilitación y Construcción, en donde la rapidez de atención dejó de ser un factor principal a considerar. Además con este método no se superponen rutas, es decir que las rutas identificadas no se “cruzarán” entre sí. (Ballou, 2004). Su aplicación podría seguir siendo empleada si se presentara un fallo en la ruta identificada, por bloqueo o inutilización, debido a que la clusterización se basa en el ángulo formado con la horizontal, la que determinará el orden de abastecimiento.

Dentro de las desventajas encontramos que en algunos casos podría no ser del todo adecuado abastecer un punto que si bien es cierto forma el siguiente menor ángulo con la horizontal se encuentra demasiado distante al próximo centro de acopio a abastecer, tal como se resume en el siguiente gráfico:

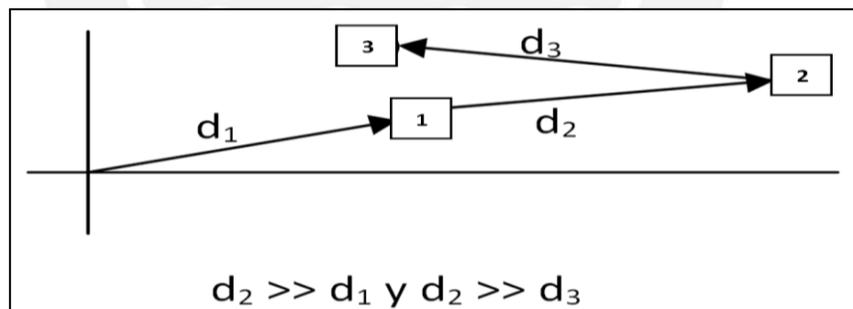


Gráfico 3.12. Abastecimiento de Puntos – Método Barrido
Elaboración propia

Como podemos observar el primer poblado a abastecer, según este método, sería el poblado 1, luego el poblado 2 y finalmente el poblado 3; sin embargo, al ser la distancia d_2 de mucha mayor proporción en comparación con las distancias d_1 y d_3 nos hace suponer que el poblado 2 no necesariamente debería ser el 2do punto a abastecer, ya que se podría atender con mayor rapidez las necesidades del poblado 3 para posteriormente pasar a la atención del poblado 2.

A continuación se presenta el resumen de los resultados obtenidos mediante la aplicación del Método del Barrido o Sweep aplicando el algoritmo de Clark y Wright o PPL.

Tabla 3.17: Resumen Dimensionamiento de Rutas mediante Método del Barrido

PROPUESTA 2	RUTA	DIST. IDEAL (Km)
Asignar Primero – Rutear Después (Método del Barrido)	AC1 - AM24 - AM15 - AM18 - AM16 - AM25 - AC1	44.65
	AC1 - AM17 - AM19 - AM20 - AM21 - AC1	49.35
	AC1 - AM22 - AM14 - AM3 - AM4 - AC1	15.68
	AC2 - AM11 - AM23 - AM8 - AM26 - AC2	19.01
	AC2 - AM6 - AM13 - AM1 - AM7 - AM27 - AM12 - AC2	30.86
	AC2 - AM2 - AM5 - AM9 - AM10 - AC2	57.08
		216.63

Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración propia

3.3.4 Propuesta 3: Rutear Primero – Asignar Después (Método de la Gran Ruta)

En esta propuesta se procederá de manera inversa al de la primera opción. Primero se elaborará la ruta que visite todos los puntos de acopio (“Gran Ruta - 1”) abastecidos por el Almacén Central 1 y luego la segunda ruta (“Gran Ruta - 2”) que visite todos los puntos de acopio abastecidos por el Almacén Central 2, en ambos aplicando en primera instancia el Algoritmo de Clark y Wright.

Se presenta a continuación la matriz que contiene las distancias comprendidas entre todos los puntos abastecidos por el Almacén Central 1.

Tabla 3.18: Matriz Distancias Gran Ruta 1 - Abastece AC1

	AM3	AM4	AM14	AM15	AM16	AM17	AM18	AM19	AM20	AM21	AM22	AM24	AM25
AM3		0.32	1.26	21.58	21.48	19.39	23.3	26.09	26.61	25.35	7.65	5.1	2.79
AM4	0.32		0.971	21.35	21.21	19.14	23.01	25.79	26.35	24.4	7.4	4.8	2.58
AM14	1.26	0.971		20.37	20.23	18.18	22.11	24.78	25.44	23.5	6.46	4.06	1.62
AM15	21.58	21.35	20.37		2.1	3.3	2.66	5.13	5.77	4.43	13.98	17.03	18.91
AM16	21.48	21.21	20.23	2.1		2.13	1.86	4.58	5.25	3.35	14.08	17.11	18.9
AM17	19.39	19.14	18.18	3.3	2.13		3.98	6.83	7.29	5.37	11.74	15.15	16.79
AM18	23.3	23.01	22.11	2.66	1.86	3.98		2.89	3.49	1.87	15.58	18.92	20.62
AM19	26.09	25.79	24.78	5.13	4.58	6.83	2.89		0.68	1.69	18.45	21.81	23.29
AM20	26.61	26.35	25.44	5.77	5.25	7.29	3.49	0.68		2.03	18.97	22.36	24.02
AM21	25.35	24.4	23.5	4.43	3.35	5.37	1.87	1.69	2.03		16.97	20.46	22.01
AM22	7.65	7.4	6.46	13.98	14.08	11.74	15.58	18.45	18.97	16.97		3.89	4.99
AM24	5.1	4.8	4.06	17.03	17.11	15.15	18.92	21.81	22.36	20.46	3.89		2.44
AM25	2.79	2.58	1.62	18.91	18.9	16.79	20.62	23.29	24.01	22.01	4.99	2.44	

Elaboración Propia

Tabla 3.19. Distancias de Almacén Central 1 a Puntos de Acopio establecidos en Gran Ruta 1

Puntos	Distancia en Km (DACij)
AM3	2.06
AM4	1.77
AM14	1.04
AM15	19.78
AM16	19.71
AM17	17.44
AM18	21.58
AM19	24.37
AM20	24.87
AM21	22.87
AM22	5.87
AM24	3.07
AM25	1.13

Elaboración propia

Donde D_{ij} = Distancia de i a j, i = almacén central 1 ó 2, según corresponda y j = almacén de insumos médicos.

Tabla 3.20: Matriz Ahorros – Gran Ruta 1

	AM3	AM4	AM14	AM15	AM16	AM17	AM18	AM19	AM20	AM21	AM22	AM24	AM25
AM3		3.51	1.84	0.26	0.29	0.11	0.34	0.34	0.32	-0.42	0.28	0.03	0.4
AM4	3.51		1.84	0.2	0.27	0.07	0.34	0.35	0.29	0.24	0.24	0.04	0.32
AM14	1.84	1.84		0.45	0.52	0.3	0.51	0.63	0.47	0.41	0.45	0.05	0.55
AM15	0.26	0.2	0.45		37.39	33.92	38.7	39.02	38.88	38.22	11.67	5.82	2
AM16	0.29	0.27	0.52	37.39		35.02	39.43	39.5	39.33	39.23	11.5	5.67	1.94
AM17	0.11	0.07	0.3	33.92	35.02		35.04	34.98	35.02	34.94	11.57	5.36	1.78
AM18	0.34	0.34	0.51	38.7	39.43	35.04		43.06	42.96	42.58	11.87	5.73	2.09
AM19	0.34	0.35	0.63	39.02	39.5	34.98	43.06		48.56	45.55	11.79	5.63	2.21
AM20	0.32	0.29	0.47	38.88	39.33	35.02	42.96	48.56		45.71	11.77	5.58	1.98
AM21	-0.42	0.24	0.41	38.22	39.23	34.94	42.58	45.55	45.71		11.77	5.48	1.99
AM22	0.28	0.24	0.45	11.67	11.5	11.57	11.87	11.79	11.77	11.77		5.05	2.01
AM24	0.03	0.04	0.05	5.82	5.67	5.36	5.73	5.63	5.58	5.48	5.05		1.76
AM25	0.4	0.32	0.55	2	1.94	1.78	2.09	2.21	1.99	1.99	2.01	1.76	

Elaboración Propia

Al igual que en el método por Cercanía de Puntos, los recuadros de color rojo fueron los empleados para la elaboración de las rutas y los recuadros blancos no se consideraron por originar superposición de rutas o por cerrar el recorrido antes de que se visite todos los puntos.

Primera Gran Ruta (Almacenes abastecidos por Almacén Central 1):

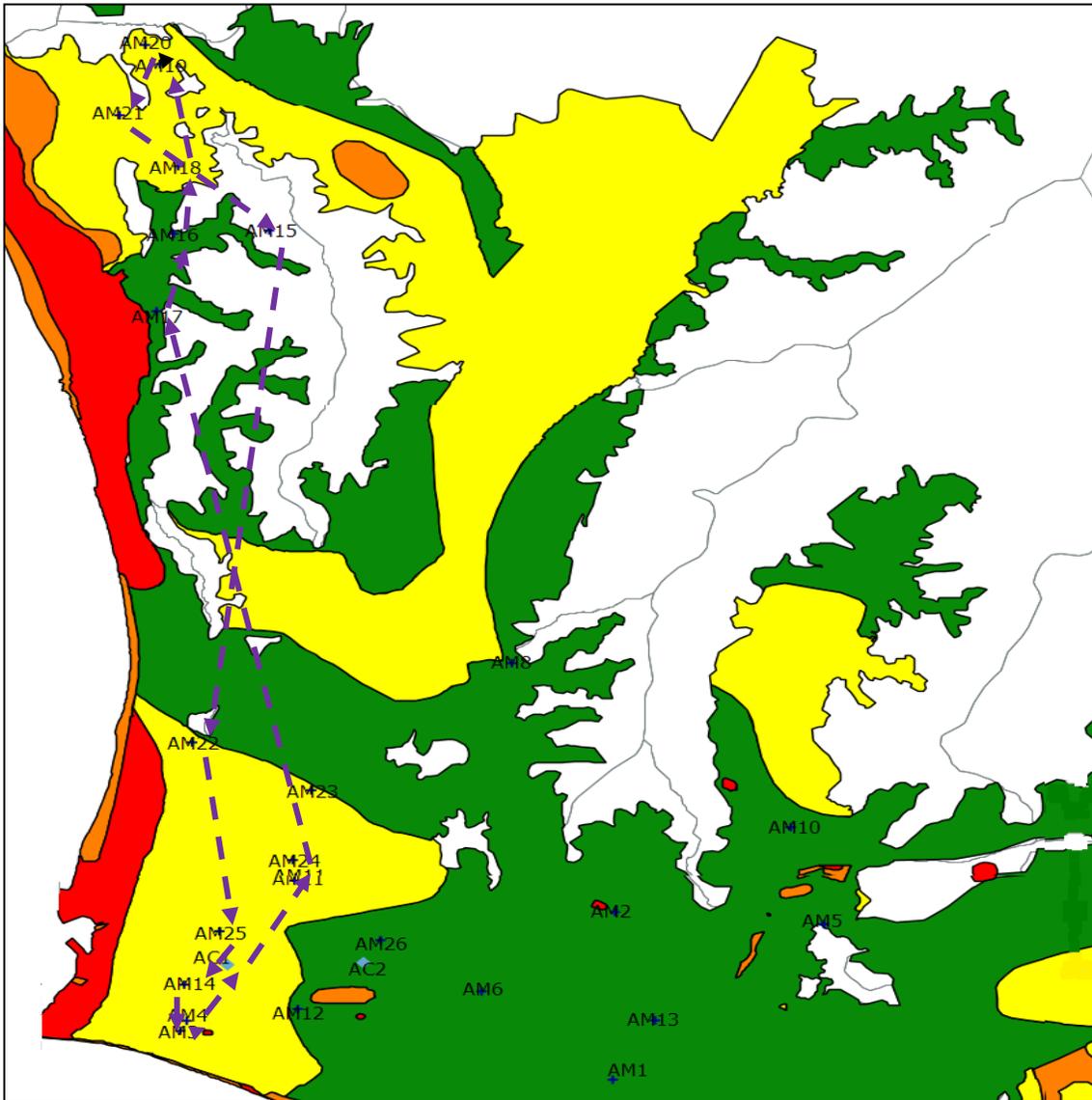
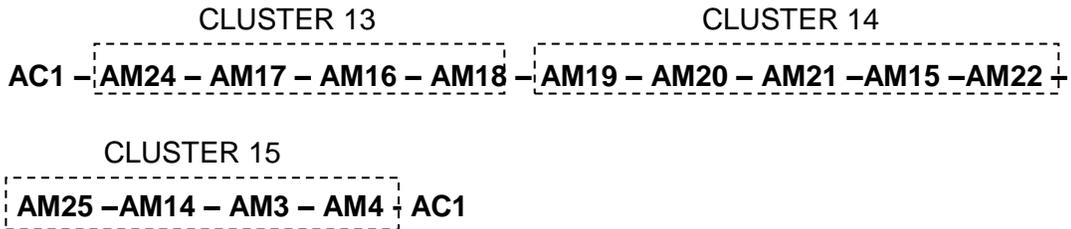


Gráfico 3.13: Puntos de acopio visitados mediante Método Gran Ruta – Gran Ruta 1
Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración propia

Ahora se procederá con la clusterización, que con la finalidad de guardar la proporcionalidad en la cantidad de puntos de acopio abastecidos en cada grupo se

procedió de la siguiente manera. Cabe mencionar que se aplicó para cada nueva cluster el algoritmo del ahorro una vez más.

- Cluster 13:

AC1 – AM24 – AM18 – AM16 – AM17 – AC1

$$3,07 + 18.92 + 1.86 + 2.13 + 17.44 = 43,42 \text{ Km}$$

- Cluster 14:

AC1 – AM15 – AM19 – AM20 – AM21 – AM22 – AC1

$$19.78 + 5.13 + 0.68 + 2.03 + 16.97 + 5.87 = 50.46 \text{ Km}$$

- Cluster 15:

AC1 – AM25 – AM14 – AM3 – AM4 – AC1

$$1,13 + 1,62 + 1,26 + 0,32 + 1,7 = 6,03 \text{ Km}$$

Por ser el procedimiento similar se presentarán directamente las rutas que visitan los almacenes abastecidos por AC2 (Ver Anexo 6).

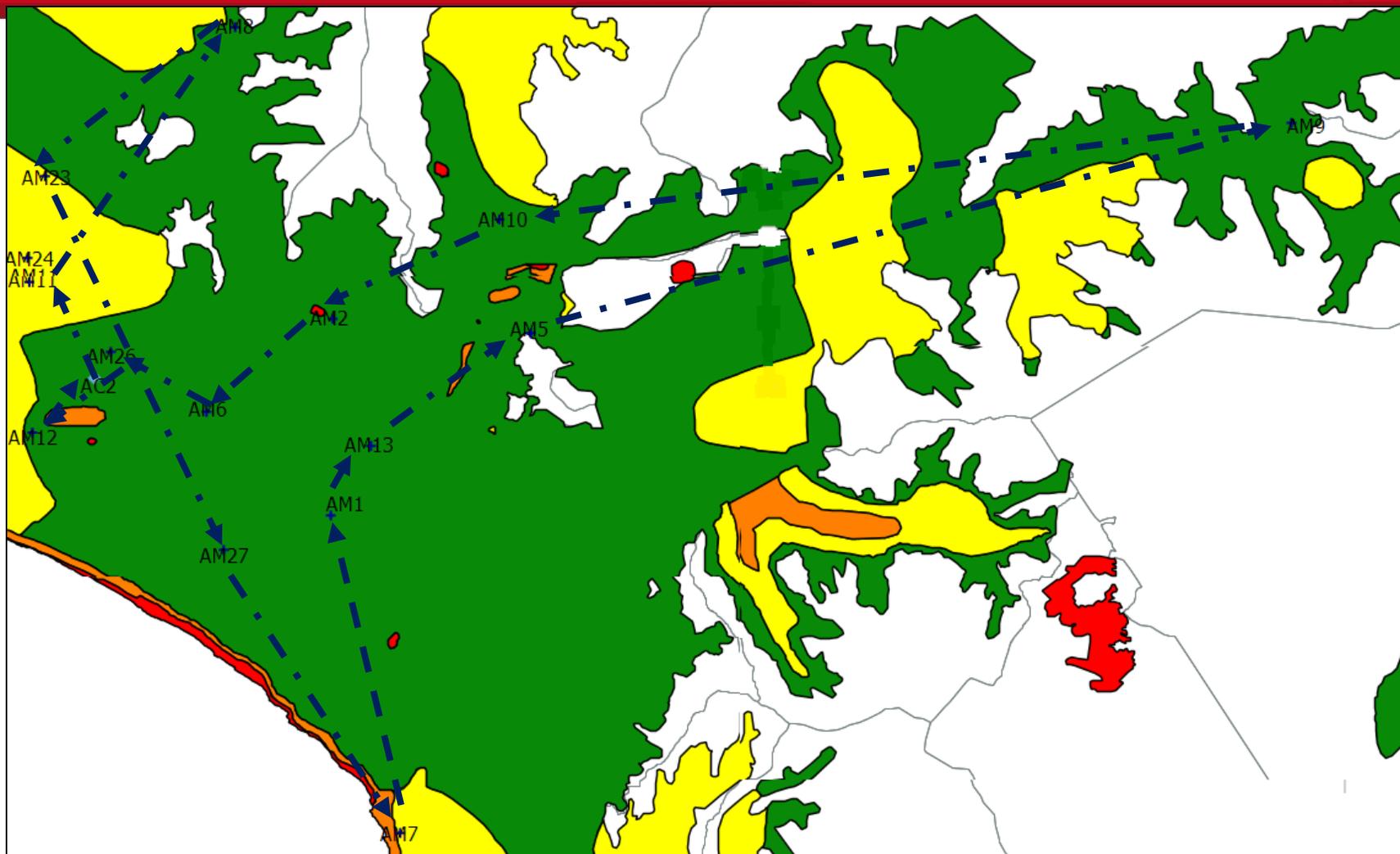
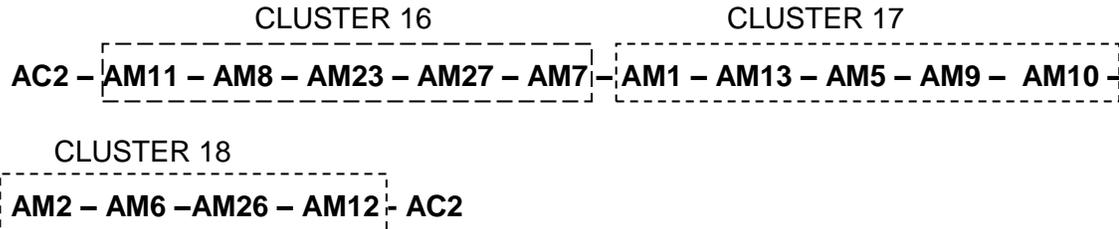


Gráfico 3.14: Puntos de acopio visitados mediante Método Gran Ruta – Gran Ruta 2
Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración propia

Segunda Gran Ruta (Almacenes abastecidos por Almacén Central 2):



Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Cluster 16:

AC2 – AM11 – AM7 – AM27 – AM23 – AM8 – AC2

$$2,44 + 7,53 + 7,7 + 9,52 + 5,5 + 8,48 = 41,17 \text{ Km}$$

- Cluster 17:

AC2 – AM13 – AM1 – AM5 – AM9 – AM10 – AC2

$$6,43 + 1,90 + 6,28 + 18,14 + 18,37 + 9,93 = 61,05 \text{ Km}$$

- Cluster 18:

AC2 – AM2 – AM6 – AM26 – AM12 – AC2

$$6,06 + 3,53 + 2,61 + 2,44 + 1,92 = 16,56 \text{ Km}$$

Dentro de las ventajas del método, encontramos que de contar con vehículos de capacidad de almacenaje muy elevada se podrían evitar retornos para su reabastecimiento, lo que implicaría importantes ahorros en distancias de retorno recorridas, ya que podría abastecer todos los puntos pertenecientes a la gran Gran Ruta en pocos viajes; sin embargo, con esta propuesta las rutas obtenidas no son necesariamente una solución óptima para el problema. Esta propuesta se enfoca en primero realizar la ruta que visite a todos los puntos para luego en base al orden de las visitas realizar la clusterización, lo que podría ocasionar superposiciones de rutas (Beasley, 1983), en caso de gran afluencia en la distribución de ayuda humanitaria a través de transportes podría ocasionar serias congestiones vehiculares, como ejemplo de estas congestiones podemos mencionar al terremoto en Pisco del 15 de agosto del 2007, en el que la Carretera Panamericana sufrió el colapso de los terraplenes entre la zona denominada "Cabeza de toro" y la entrada a Pisco por el distrito de San

Clemente, lo que ocasionó que el acceso quede dañado y dificultó la movilización de vehículos hacia la zona, lo que también ocasionó retrasos considerables en tiempos de entrega. (Sáenz, 2007)

A continuación se presenta el resumen de los resultados obtenidos mediante la aplicación del Método de la Gran Ruta.

Tabla 3.21: Resumen Dimensionamiento de Rutas mediante Método de la Gran Ruta

PROPUESTA 3	RUTA	DIST. IDEAL (Km)
Rutear primero, Asignar después (Método de la Gran Ruta)	AC1 - AM24 - AM18 - AM16 - AM17 - AC1	43,42
	AC1 - AM15 - AM19 - AM20 - AM21 - AM22 - AC1	50.46
	AC1 - AM25 - AM14 - AM3 - AM4 - AC1	6.03
	AC2 - AM11 - AM27 - AM7 - AM23 - AM8 - AC2	41.17
	AC2 - AM13 - AM1 - AM5 - AM9 - AM10 - AC2	61.05
	AC2 - AM2 - AM6 - AM26 - AM12 - AC2	16.56
		218.69

Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración propia

3.3.5 Propuesta 4: Método Gran Ruta aplicando Programación Lineal

En este caso, los resultados al aplicar la PPL en lugar del algoritmo del ahorro empleado en los casos anteriores, difiere de los resultados obtenidos por el método del ahorro. Se procederá en primer lugar a determinar la ruta a seguir teniendo en cuenta los puntos abastecidos por AC1 y AC2.

En esta ocasión por la complejidad y cantidad de los nodos involucrados en las rutas descritas se ha optado por emplear el software Grafos v.1.3.5¹² de Alejandro Rodríguez¹³, en lugar del Lindo 6.1, un programa para la construcción, edición y análisis de grafos que emplea el mismo método de Programación Lineal, al igual que el Software Lindo 6.1, como base y se obtuvieron los siguientes resultados:

¹² Descarga libre de: <http://arodrigu.webs.upv.es/descargas/>

¹³ Profesor Doctor en el Departamento de Organización de Empresas de la Universidad Politécnica de Valencia, especialista en cálculo de rutas de vehículos y gestión de flotas.

- Gran Ruta 1:

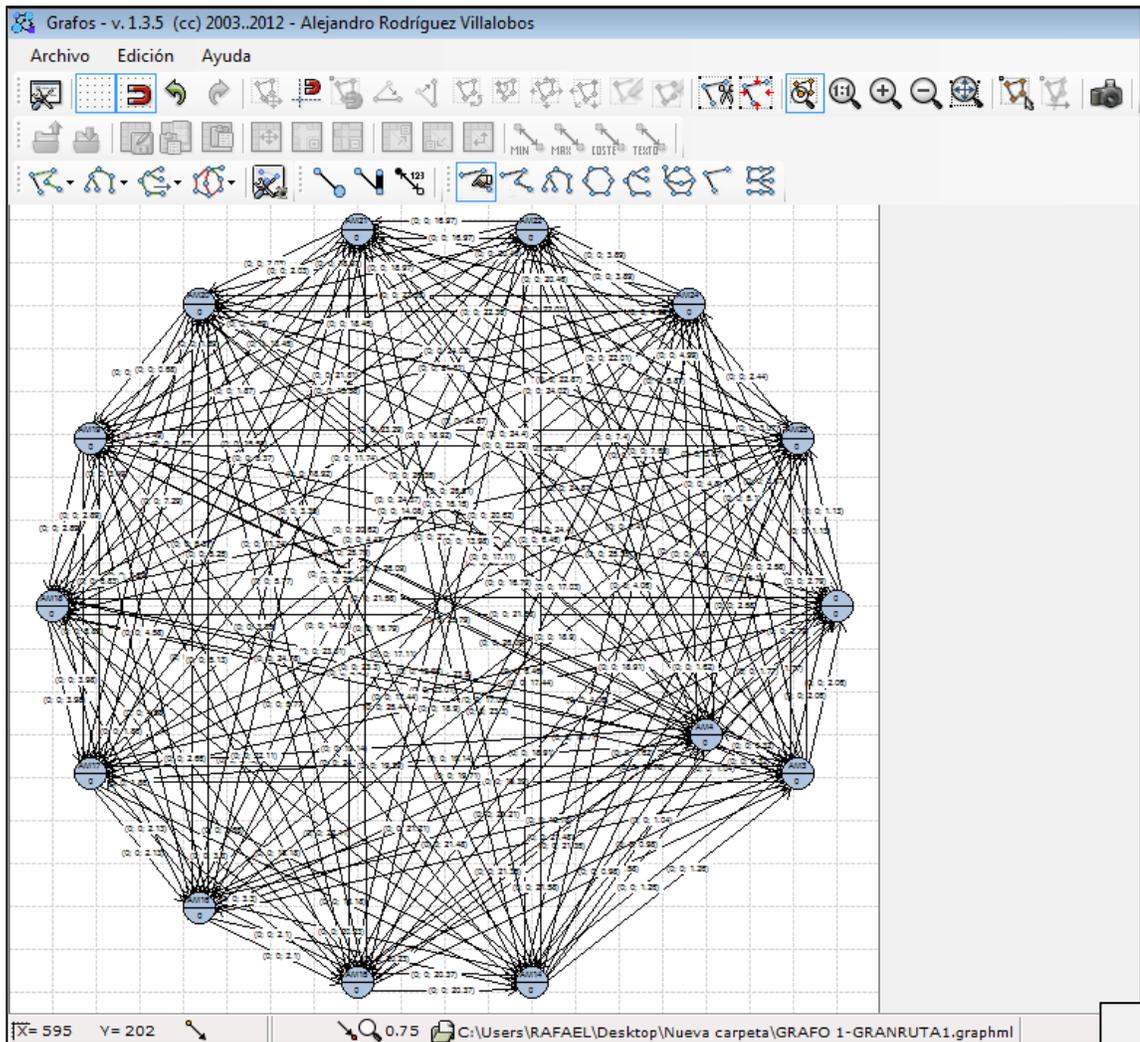
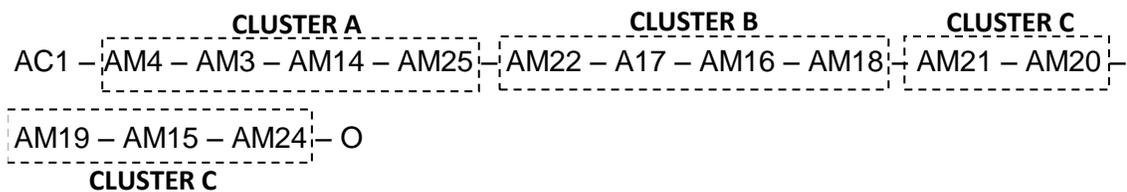


Gráfico 3.14. Red de Grafos generados – Gran Ruta 1

Fuente: Grafos



Una vez obtenida la Gran Ruta 1, se procedió a emplear nuevamente el software Grafos v 1.3.5. Para encontrar las rutas internas a recorrer.

Cluster A: AC1 - AM4 - AM3 - AM14 - AM25 - AC1 = 6,10 Km

Cluster B: AC1 - AM22 - AM17 - AM16 – AM18 - AC1 = 41.68 Km

Cluster C: AC1 - AM21 – AM20 - AM19 – AM15 – AM24 – AC1 = 50,81 Km

- Gran Ruta 2:

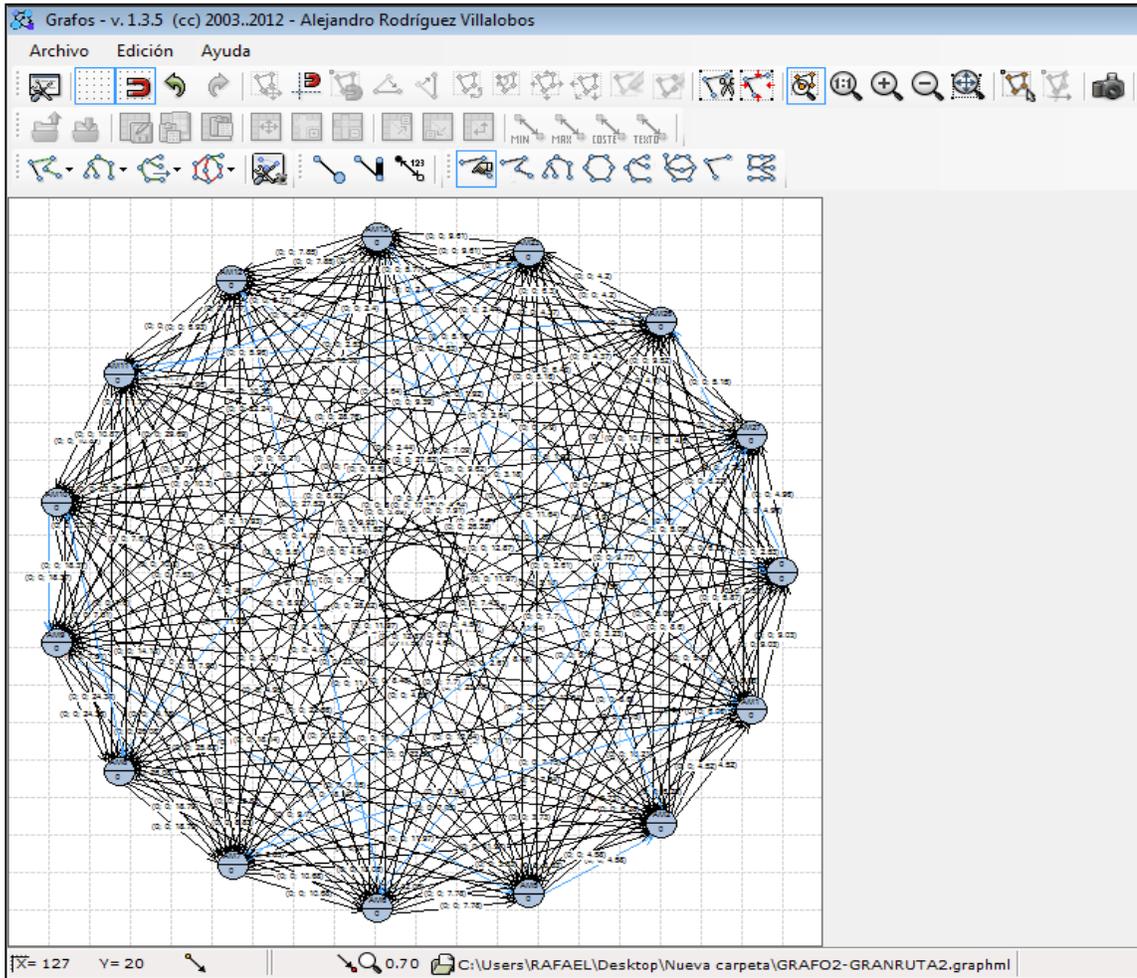
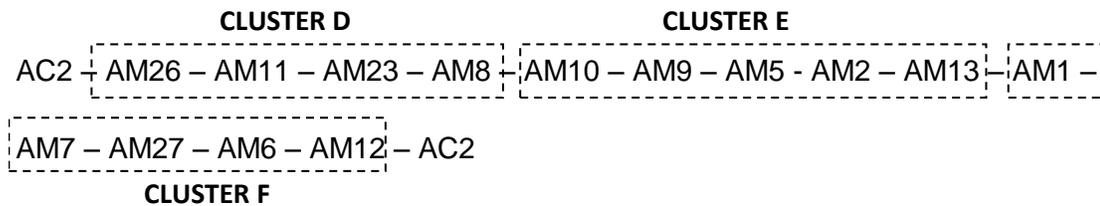


Gráfico 3.15. Red de Grafos generados – Gran Ruta 2

Fuente: Grafos



De la misma manera que en la Gran Ruta 1, para este caso se procedió a emplear el software para encontrar las rutas internas a recorrer por cada cluster.

Cluster D: AC2 – AM26– AM8 – AM11 – AM23 – AC2 = 23,27 Km

Cluster E: AC2 – AM2 – AM10 – AM9 – AM5 – AM13 - AC2 = 58,13 Km

Cluster F: AC2 – AM6 – AM1 – AM7 – AM27 – AM12 – AC2 = 28,80 Km

A continuación se muestra el resumen de los resultados obtenidos mediante el método de la Gran Ruta con la aplicación de la Programación Lineal.

Tabla 3.21: Resumen Dimensionamiento de Rutas mediante Método PPL - Gran Ruta

PROPUESTA 4	RUTA	DIST. IDEAL (Km)
Rutear primero, asignar después (Gran Ruta - PPL)	AC1 - AM4 - AM3 - AM14 - AM25 - AC1	6.10
	AC1 - AM22 - AM17 - AM16 - AM18 - AC1	41.68
	AC1 - AM21 - AM20 - AM19 - AM15 - AM24 - AC1	50.81
	AC2 - AM26 - AM8 - AM11 - AM23 - AC2	23.27
	AC2 - AM2 - AM10 - AM9 - AM5 - AM13 - AC2	58.13
	AC2 - AM6 - AM1 - AM7 - AM27 - AM12 - AC2	28.80
		208.79

Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración propia

3.3.6 Propuesta 5: Asignar Primero – Rutear Después (Clasificación Ascendente Jerárquica)

Hasta el momento los algoritmos y métodos empleados solo han tenido en cuenta la distancia entre los puntos de acopio y el centro de distribución y un agrupamiento basado en la zona sísmica en la que se encuentran, es por esto que la importancia de esta propuesta radica en que la asignación de las clusters, además de basarse en la vulnerabilidad sísmica de las zonas donde se encuentran los puntos de acopio, también lo hará en la vulnerabilidad socioeconómica, vulnerabilidad por mala accesibilidad, la vulnerabilidad por la exposición a peligros (que tiene en cuenta la densidad poblacional, el tipo de material de construcción, tipología, estado de conservación y altura de viviendas) y la cercanía de los puntos de acopio respecto al almacén central q los abastece. Se optó por considerar estos factores según lo

identificado por INDECI, como los principales tipos de vulnerabilidades y bajo la premisa de que se brindará la ayuda humanitaria teniendo en cuenta qué población será la que más la necesite, así como la distancia a la que se encuentra el punto a abastecer respecto al Almacén Central de Ayuda Humanitaria.

El método de *Clasificación Ascendente Jerárquica* representado gráficamente mediante Dendrogramas se emplea como técnica eficiente para la identificación de clusters que combinan diversas características (Villardón, 2007) que al obtener las nuevas clusters, resultado de la interpretación gráfica de los Dendrogramas, muestran los Dendrogramas obtenidos y las rutas finales. Para la aplicación de este método se empleó el software XLSTAT 2013.6.03, una herramienta de análisis estadístico avanzado.

Es necesario recalcar que INDECI proporciona una valoración cualitativa a cada tipo de vulnerabilidad lo que permite a su vez asociarle una valoración cuantitativa teniendo en cuenta los niveles de impacto de la catástrofe. En algunos casos la escala comprende los valores de 1 a 5 y en otros de 1 a 4; tal como se resumen en la tabla 3.22 y 3.23:

Tabla 3.22 Resumen escala de valoraciones asociadas por tipo de vulnerabilidad

Accesibilidad de Día	Valoración (Escala de 1 a 5)
Muy Buena	1
Buena	2
Regular	3
Mala	4
Muy Mala	5

Exposición a Peligros	Valoración (Escala de 1 a 4)
Impacto Bajo	1
Impacto Medio	2
Impacto Alto	3
Impacto Muy	4

Fuente: INDECI
Elaboración propia

Tabla 3.23 Resumen 2 escala de valoraciones asociadas por tipo de

Vulnerabilidad Sísmica	Valoración (Escala de 1 a 4)
Baja	1
Relativamente	2
Alta	3
Muy Alta	4

Accesibilidad de Noche	Valoración (Escala de 1 a 5)
Muy Buena	1
Buena	2
Mala	4
Muy Mala	5

Vulnerabilidad Socioeconómica	Valoración (Escala de 1 a 5)
Muy baja	1
Baja	2
Alta	4
Muy Alta	5

Fuente: INDECI
Elaboración propia

Paso 1, teniendo en cuenta la valoración asociada a cada tipo de vulnerabilidad descrita líneas arriba y el distrito en el que se encuentran , se muestra el resumen de la siguiente manera:

ALMACÉN QUE ABASTECE	Tabla 3.24: Tipo de Vulnerabilidad Asociada y Valoración						
	PUNTO DE ACOPIO	SOCIO-ECONOMICA	MALA ACCESIBILIDAD (DÍA)	MALA ACCESIBILIDAD (NOCHE)	EXPOSICION A PELIGROS	SÍSMICA	DISTANCIA A CENTRO DE ACOPIO (En Km)
AC2	AM1	2	4	1	2	1	6.29
AC2	AM2	2	4	2	5	1	6.06
AC1	AM3	2	4	3	5	2	2.06
AC1	AM4	2	4	3	4	2	1.77
AC2	AM5	2	5	3	3	1	10.21
AC2	AM6	2	4	2	1	1	2.75
AC2	AM7	2	3	1	2	2	12.54
AC2	AM8	2	5	3	2	1	8.48
AC2	AM9	1	5	4	4	1	28.32
AC2	AM10	2	5	3	1	1	9.93
AC2	AM11	2	3	2	4	2	2.44
AC2	AM12	2	4	3	3	1	1.92
AC2	AM13	2	4	1	3	1	6.43
AC1	AM14	2	4	3	5	2	1.04
AC1	AM15	1	4	4	3	1	19.78

AC1	AM16	1	4	4	3	1	19.71
AC1	AM17	1	4	2	3	1	17.44
AC1	AM18	1	4	4	3	2	21.58
AC1	AM19	1	4	4	3	2	24.37
AC1	AM20	1	4	4	3	2	24.87
AC1	AM21	1	4	4	3	2	22.87
AC1	AM22	1	3	2	4	2	5.87
AC2	AM23	2	3	2	4	2	4.6
AC1	AM24	2	3	2	4	2	3.07
AC1	AM25	2	4	2	4	2	1.13
AC2	AM26	2	4	3	4	1	0.757
AC2	AM27	2	4	1	2	1	4.96
Máximo Valor		2	5	4	5	2	28.32

Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración Propia

Según la definición del procedimiento para la Clasificación Ascendente Jerárquica, es necesario estandarizar los valores con la finalidad de que se encuentren en la misma escala de medición y poder posteriormente realizar la clusterización (Ver Tablas 3.23 y 3.25), como se podrá observar algunos datos fueron medidos en la escala de 1 a 4 o de 1 a 5 dependiendo de la vulnerabilidad asociada e inclusive algunos datos se midieron en una escala totalmente diferente como es la distancia del almacén central al centro de acopio (en kilómetros). Por este motivo se procederá a aplicar la *estandarización* de los datos a través del método “Magnitud Máxima de 1”, (Justel, 2008) que consiste en dividir cada valor de cada variable entre el máximo valor de las mismas para de esta forma obtener datos entre 0 y 1.

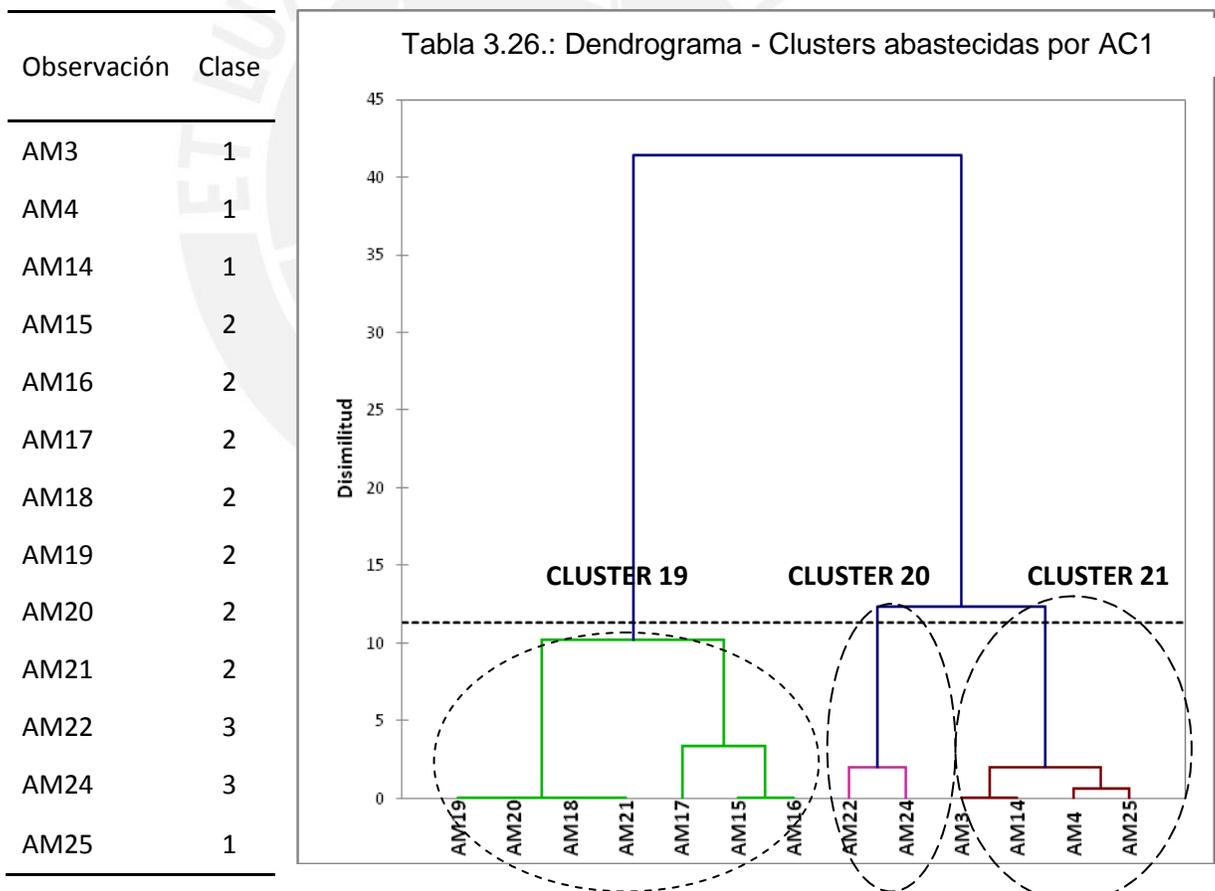
En la Tabla 3.24 se presentan los inputs estandarizados para iniciar con el método de Clasificación Ascendente Jerárquica de los puntos abastecidos por AC1 y dar inicio al paso 1.

ALMACÉN QUE ABASTECE	PUNTO DE ACOPIO	Tipo de Vulnerabilidad Asociada y Valoración					
		SOCIO-ECONOMICA	MALA ACCESIBILIDAD (DÍA)	MALA ACCESIBILIDAD (NOCHE)	EXPOSICION A PELIGROS	SÍSMICA	DISTANCIA A CENTRO DE ACOPIO (En Km)
AC1	AM4	1	0.8	0.75	0.8	1	0.06
AC1	AM14	1	0.8	0.75	1	1	0.04
AC1	AM15	0.5	0.8	1	0.6	0.5	0.7

AC1	AM16	0.5	0.8	1	0.6	0.5	0.7
AC1	AM17	0.5	0.8	0.5	0.6	0.5	0.62
AC1	AM18	0.5	0.8	1	0.6	1	0.76
AC1	AM19	0.5	0.8	1	0.6	1	0.86
AC1	AM20	0.5	0.8	1	0.6	1	0.88
AC1	AM21	0.5	0.8	1	0.6	1	0.81
AC1	AM22	0.5	0.6	0.5	0.8	1	0.21
AC1	AM24	1	0.6	0.5	0.8	1	0.11
AC1	AM25	1	0.8	0.5	0.8	1	0.04

Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración Propia

Paso 2, se realizará el análisis con el programa estadístico XLSTAT 2013.6.03 obteniendo las nuevas clusters.



La línea punteada horizontal divide a los puntos de acopio en 3 clusters, tal como se indica en la tabla 3.26.

Paso 3, ahora se procederá con la aplicación del Algoritmo de Clark y Wright teniendo en cuenta las clusters establecidas, por proceder de la misma manera que los métodos anteriores solo se mostrarán los resultados finales (Ver Anexo 6).

- CLUSTER 19:

AC1 – AM17 – AM21 – AM20 – AM19 – AM18 – AM16 – AM15 – AC1

$$17,44 + 5,37 + 2,03 + 0,68 + 2,89 + 1,86 + 2,1 + 19,78 = 52,15 \text{ Km}$$

- CLUSTER 20:

AC1 - AM22 - AM24 - AC1

$$5,87 + 3,89 + 3,07 = 12,83 \text{ Km}$$

- CLUSTER 21:

AC1 – AM4 – AM25 – AM3 – AM14 - AC1

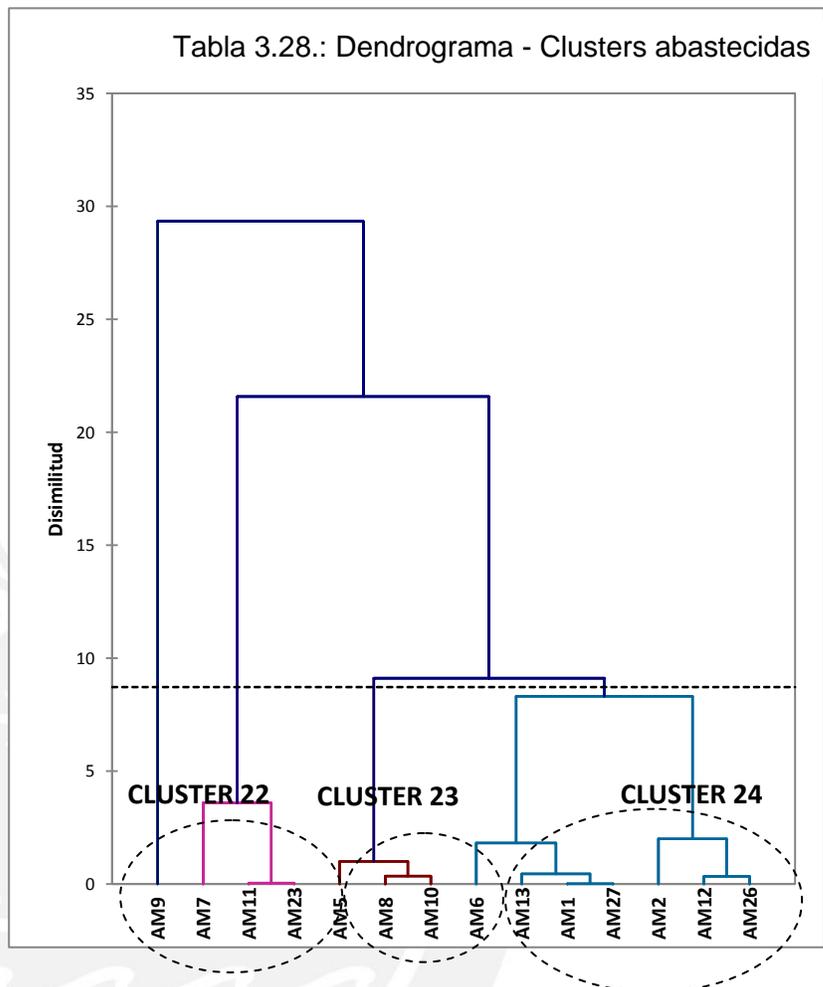
$$1,77 + 2,58 + 0,4 + 1,84 + 1,04 = 7,63 \text{ Km}$$

En la Tabla 3.27 se presentan los inputs estandarizados necesarios para proceder con el método de Clasificación Ascendente Jerárquica de los puntos abastecidos por AC2.

Tabla 3.27. Datos Estandarizados - Puntos de Acopio Abastecidos por Almacén Central 2							
ALMACÉN QUE ABASTECE	PUNTO DE ACOPIO	Tipo de Vulnerabilidad Asociada y Valoración					
		SOCIO-ECONOMICA	MALA ACCESIBILIDAD (DÍA)	MALA ACCESIBILIDAD (NOCHE)	EXPOSICION A PELIGROS	SÍSMICA	DISTANCIA A CENTRO DE ACOPIO (En Km)
AC2	AM1	1	0.8	0.25	0.4	0.5	0.22
AC2	AM2	1	0.8	0.5	1	0.5	0.21
AC2	AM5	1	1	0.75	0.6	0.5	0.36
AC2	AM6	1	0.8	0.5	0.2	0.5	0.1
AC2	AM7	1	0.6	0.25	0.4	1	0.44
AC2	AM8	1	1	0.75	0.4	0.5	0.3
AC2	AM9	0.5	1	1	0.8	0.5	1
AC2	AM10	1	1	0.75	0.2	0.5	0.35
AC2	AM11	1	0.6	0.5	0.8	1	0.09
AC2	AM12	1	0.8	0.75	0.6	0.5	0.07
AC2	AM13	1	0.8	0.25	0.6	0.5	0.23
AC2	AM23	1	0.6	0.5	0.8	1	0.16
AC2	AM26	1	0.8	0.75	0.8	0.5	0.03
AC2	AM27	1	0.8	0.25	0.4	0.5	0.18

Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración Propia

Observación	Clase
AM1	1
AM2	1
AM5	2
AM6	1
AM7	3
AM8	2
AM9	4
AM10	2
AM11	3
AM12	1
AM13	1
AM23	3
AM26	1
AM27	1



Observamos que según lo indicado en la Tabla 3.28, la línea punteada horizontal origina cuatro clusters, sin embargo la primera está conformada solamente por el almacén AM9, por lo que se procederá a anexarla a la siguiente cluster. Aplicando el algoritmo de Clarke y Wright obtenemos para cada cluster:

CLUSTER 22:

AC2 – AM9 – AM7 – AM11 – AM23 –AC2

$$28,32 + 26.08 + 7.53 + 2.4 + 4.6 = 68.93 \text{ Km}$$

• CLUSTER 23:

AC2 - AM5 – AM8 – AM10 – AC2

$$10.21 + 9.7 + 7,51 + 9,93 = 37,35 \text{ Km}$$

- CLUSTER 24:

AC2 – AM12 – AM27 – AM1 – AM13 – AM2 – AM6 – AM26 – AC2

$$1,92 + 5,16 + 2,53 + 1,9 + 3,18 + 3,53 + 2,61 + 0,75 = 21,59 \text{ Km}$$

Es importante resaltar que no se consideran Calles ni tráfico.

Como se mencionó, la ventaja de la propuesta, es que considera otros factores muy importantes para la clusterización como: distancia a almacén que abastece, vulnerabilidades socioeconómicas, por mala accesibilidad y por exposición a peligros; lo que propone una agrupación de puntos basada en características similares que al conocer esta información se podría optar por priorizar la atención en determinadas zonas.

La aplicación de esta propuesta se podría complicar al no contar de antemano con información pertinente de todos los puntos afectados para cargar al sistema y poder realizar la modelación; en el caso de estudio INDECI cuenta con toda la información relevante para la aplicación del presente método; pero esto se podría ver afectado en regiones o distritos en los que el estudio de vulnerabilidades no ha sido lo suficientemente exhaustivo.

A continuación se presenta el resumen de los resultados obtenidos mediante la aplicación del Método de Clasificación Ascendente Jerárquica.

Tabla 3.29: Resumen Dimensionamiento de Rutas mediante Método Clasificación Ascendente Jerárquica

PROPUESTA 5	RUTA	DIST. IDEAL (Km)
Asignar primero, Rutear después (Clasificación Ascendente Jerárquica)	AC1 - AM17 - AM21 - AM20 - AM19 - AM18 - AM16 - AM15 - AC1	52.15
	AC1 - AM22 - AM24 - AC1	12.83
	AC1 - AM4 - AM25 - AM3 - AM14 - AC1	7.63
	AC2 - AM9 - AM7 - AM11 - AM23 - AC2	68.93
	AC2 - AM5 - AM8 - AM10 - AC2	37.35
	AC2 - AM12 - AM27 - AM1 - AM13 - AM2 - AM6 - AM26 - AC2	21.59
		200.48

Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración propia

CAPITULO 4: EVALUACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Dimensionamiento Real

Para hallar las distancias reales se emplearon herramientas de medición del Visor Cartográfico SIRAD. Esta herramienta compone una base de datos y análisis de la vulnerabilidad de recursos que tienen como principal propósito la reducción de la vulnerabilidad del sistema de gestión de crisis en Lima y Callao y permitir así una mejor preparación, optimizando la articulación entre los recursos para manejar la emergencia y las necesidades de la atención de desastre. La importancia radica en los recursos considerados, pues abarcan 10 campos de la emergencia: centros de decisión e intervención, abastecimiento de agua, abastecimiento de alimentos, atención médica de emergencia, abastecimiento de energía, transporte y vialidad, telecomunicaciones, áreas potenciales para albergues, áreas potenciales para escombreras y áreas económicas. Se trata de recursos necesarios tanto para la respuesta inmediata como para la recuperación temprana. No considera la totalidad, pero si la mayoría de los recursos más importantes a analizar.

Como se mencionó las rutas no consideran las calles ni el tráfico. Si se desea realizar un análisis más relevante es necesario conocer la verdadera distancia que se recorrería en cada ruta propuesta y también las posibles complicaciones presentadas en la etapa post-desastre como el bloqueo de rutas. Estas distancias recorridas por cada propuesta son detalladas a continuación:

Tabla 4.1. Distancias Reales Recorridas - Propuesta 1

Pro: Vehículos abastecen conglomerados de puntos cercanos / Contra: Puntos cercanos abastecidos no necesariamente necesitan ayuda prioritariamente y fallo en ruta podría ocasionar rediseño de clusters.

PROPUESTA 1	RUTA	DIST. REAL (Km)
Asignar Primero – Rutear Después (Por cercanía de Puntos)	AC1 - AM20 - AM19 - AM21 - AM18 - AC1	59.84
	AC1 - AM15 - AM16 - AM17 - AC1	50.26
	AC1 - AM24 - AM22 - AM25 - AM14 - AM4 - AM3 - AC1	22.63
	AC2 - AM26 - AM8 - AM23 - AM11 - AC2	28.27
	AC2 - AM12 - AM27 - AM7 - AM1 - AM13 - AM6 - AC2	37.64
	AC2 - AM5 - AM9 - AM10 - AM2 - AC2	62.85
		261.49

Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración propia

Tabla 4.2. Distancias Reales Recorridas - Propuesta 2

Pro: No se superponen Rutas y fallo en Ruta no implicaría nueva clusterización / Contra: Si un punto a abastecer se encontrara muy distante a pesar de formar el próximo menor ángulo con horizontal, podría ocasionar complicaciones en abastecimiento

PROPUESTA 2	RUTA	DIST. REAL (Km)
Asignar Primero – Rutear Después (Método del Barrido)	AC1 - AM24 - AM15 - AM18 - AM16 - AM25 - AC1	56.87
	AC1 - AM17 - AM19 - AM20 - AM21 - AC1	55.2
	AC1 - AM22 - AM14 - AM3 - AM4 - AC1	21.59
	AC2 - AM11 - AM23 - AM8 - AM26 - AC2	26.67
	AC2 - AM6 - AM13 - AM1 - AM7 - AM27 - AM12 - AC2	37.93
	AC2 - AM2 - AM5 - AM9 - AM10 - AC2	61.17
		259.43

Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración propia

Tabla 4.3. Distancias Reales Recorridas - Propuesta 3

Pro: vehículos con capacidad muy elevada de almacenaje evitarían retornos para reabastecimiento y producirían significativos ahorros en distancia ya que lograrían abastecer todos los puntos en un solo recorrido / Contra: Puede

PROPUESTA 3	RUTA	DIST. REAL (Km)
Rutear primero, Asignar después (Método de la Gran Ruta – Algoritmo de Clark y Wright)	AC1 - AM24 - AM18 - AM16 - AM17 - AC1	50.67
	AC1 - AM15 - AM19 - AM20 - AM21 - AM22 - AC1	61.61
	AC1 - AM25 - AM14 - AM3 - AM4 - AC1	9.58
	AC2 - AM11 - AM27 - AM7 - AM23 - AM8 - AC2	47.81
	AC2 - AM13 - AM1 - AM5 - AM9 - AM10 - AC2	67.96
	AC2 - AM2 - AM6 - AM26 - AM12 - AC2	19.99
		257.62

Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración propia

Tabla 4.4. Distancias Reales Recorridas - Propuesta 4

Pro: vehículos con capacidad muy elevada evitarían retornos para reabastecimiento y producirían significativos ahorros en distancia ya que lograrían abastecer todos los puntos en un solo recorrido / Contra: Puede ocasionar superposición de rutas

PROPUESTA 4	RUTA	DIST. REAL (Km)
Rutear primero, Asignar después (Método de la Gran Ruta - PPL-)	AC1 - AM4 - AM3 - AM14 - AM25 - AC1	6.267
	AC1 - AM22 - AM17 - AM16 - AM18 - AC1	48.19
	AC1 - AM21 - AM20 - AM19 - AM15 - AM24 - AC1	57.73
	AC2 - AM26 - AM8 - AM11 - AM23 - AC2	31.63
	AC2 - AM2 - AM10 - AM9 - AM5 - AM13 - AC2	69.83
	AC2 - AM6 - AM1 - AM7 - AM27 - AM12 - AC2	35.54
		249.19

Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración propia

Tabla 4.5. Distancias Reales Recorridas - Propuesta 5

Pro: Considera diversas características propias de los puntos a abastecer lo que permitiría clusterización basada en vulnerabilidades / Contra: Contar previamente con la información relevante de los puntos que serán afectados por el terremoto

PROPUESTA 5	RUTA	DIST. REAL (Km)
Asignar primero, Rutear después (Clasificación Ascendente Jerárquica)	AC1 - AM17 - AM21 - AM20 - AM19 - AM18 - AM16 - AM15 - AC1	58.54
	AC1 - AM22 - AM24 - AC1	16.56
	AC1 - AM4 - AM25 - AM3 - AM14 - AC1	11.62
	AC2 - AM9 - AM7 - AM11 - AM23 - AC2	87.37
	AM5 - AM5 - AM8 - AM10 - AC2	47.29
	AC2 - AM12 - AM27 - AM1 - AM13 - AM2 - AM6 - AM26 - AC2	28.94
		258.72

Fuente: Visor Cartográfico SIRAD
Elaboración propia

Tabla 4.6. Resumen distancias reales recorridas por cada propuesta

	DISTANCIA REAL (Km)
PROPUESTA 1	261.49
PROPUESTA 2	259.43
PROPUESTA 3	257.62
PROPUESTA 4	249.19
PROPUESTA 5	258.72

Como podemos observar, considerando las distancias reales la propuesta con menor distancia recorrida es la Propuesta 4: Asignar primero, Rutear después (Gran Ruta – PPL) con aprox. 249.19 km y la propuesta con mayor distancia recorrida es la Propuesta 1: Asignar Primero – Rutear Después (Por cercanía de Puntos) con aprox. 261.49 km.

4.2 Diferencias y similitudes entre modelos

El método de Rutear primero, Asignar después (Propuesta 3 y 4) plantea primero encontrar la ruta óptima para todos los puntos para luego pasar a la asignación de clusters. Mientras que en las Propuestas 1, 2 y 5 se asignan primero las clusters.

A continuación, en la tabla se ofrece un resumen de la descripción de las propuestas desarrolladas:

Tabla 4.7. Resumen propuestas desarrolladas

Propuesta	Método	Descripción
Propuesta 1	Asignar primero, Rutear después	1) Cercanía de puntos - Método de Clark y Wright
		2) Cercanía de puntos - PPL
Propuesta 2	Asignar primero, Rutear después	1) Barrido o Sweep- Método de Clark y Wright
		2) Barrido o Sweep- PPL
Propuesta 3	Rutear primero, Asignar después	Método de Clark y Wright – Gran Ruta
Propuesta 4	Rutear primero, Asignar después	PPL - Gran Ruta
Propuesta 5	Asignar primero, Rutear después	Clasificación Ascendente Jerárquica(Dendrogramas) - Método de Clark y Wright

Elaboración propia

4.3 Evaluación técnica y económica de la mejor propuesta

4.3.1. Evaluación de Distancias:

Se presenta a continuación una evaluación cuantitativa basada en las distancias ideales, que representan las distancias euclidianas (de punto a punto) y las reales, que son las recorridas teniendo en cuenta las calles. A partir de las cuales se pretende encontrar la mejor opción.

Tabla 4.8. Distancias Ideales vs Distancias Reales – Propuesta 1: (Por cercanía de Puntos)

PROPUESTA 1	RUTA	DIST. IDEAL (Km)	DIST. REAL (Km)	DIF.	VAR.
Asignar Primero – Rutear Después (Por cercanía de Puntos)	AC1 - AM20 - AM19 - AM21 - AM18 - AC1	57.98	69.13	11.15	19.23%
	AC1 - AM15 - AM16 - AM17 - AC1	41.45	50.26	8.81	21.25%
	AC1 - AM24 - AM22 - AM25 - AM14 - AM4 - AM3 - AC1	16.92	22.63	5.71	33.75%
	AC2 - AM26 - AM8 - AM23 - AM11 - AC2	19.01	26.27	7.26	38.19%
	AC2 - AM12 - AM27 - AM7 - AM1 - AM13 - AM6 - AC2	30.86	37.64	6.78	21.97%
	AC2 - AM5 - AM9 - AM10 - AM2 - AC2	57.08	62.85	5.77	10.11%
Elaboración propia		223.03	261.49	45.48	17.24%

Tabla 4.9. Distancias Ideales vs Distancias Reales – Propuesta 2: (Método del Barrido)

PROPUESTA 2	RUTA	DIST. IDEAL (Km)	DIST. REAL (Km)	DIF.	VAR.
Asignar Primero – Rutear Después (Método del Barrido)	AC1 - AM24 - AM15 - AM18 - AM16 - AM25 - AC1	44.65	56.87	12.22	27.37 %
	AC1 - AM17 - AM19 - AM20 - AM21 - AC1	49.35	55.2	5.85	11.85 %
	AC1 - AM22 - AM14 - AM3 - AM4 - AC1	15.68	21.59	5.91	37.69 %
	AC2 - AM11 - AM23 - AM8 - AM26 - AC2	19.01	26.67	7.66	40.29 %
	AC2 - AM6 - AM13 - AM1 - AM7 - AM27 - AM12 - AC2	30.86	37.93	7.07	22.91 %
	AC2 - AM2 - AM5 - AM9 - AM10 - AC2	57.08	61.17	4.09	7.17 %
Elaboración propia		216.63	259.43	42.8	19.76 %

Tabla 4.10. Distancias Ideales vs Distancias Reales – Propuesta 3: Método de la Gran Ruta

PROPUESTA 3	RUTA	DIST. IDEAL (Km)	DIST. REAL (Km)	DIF.	VAR.
Rutear primero, Asignar después (Método de la Gran Ruta)	AC1 - AM24 - AM17 - AM16 - AM18 - AC1	43.42	50.67	7.25	16.70 %
	AC1 - AM19 - AM20 - AM21 - AM15 - AM22 - AC1	50.46	61.61	11.15	22.10 %
	AC1 - AM25 - AM14 - AM3 - AM4 - AC1	6.03	9.58	3.55	58.87 %
	AC2 - AM11 - AM27 - AM26 - AM23 - AM11 - AC2	41.17	47.81	6.64	16.13 %
	AC2 - AM10 - AM5 - AM1 - AM27 - AC2	61.05	67.96	6.91	11.32 %
	AC2 - AM12 - AM6 - AM10 - AM8 - AM9 - AC2	16.56	19.99	3.43	20.71%
		218.69	257.62	38.93	23.38 %

Elaboración propia

Tabla 4.11. Distancias Ideales vs Distancias Reales – Propuesta 4: PPL-Método Gran Ruta

PROPUESTA 4	RUTA	DIST. IDEAL (Km)	DIST. REAL (Km)	DIF.	VAR.
Asignar primero, Rutear después (PPL-Método Gran Ruta)	AC1 - AM4 - AM3 - AM14 - AM25 - AC1	6.10	6.267	0.17	2.66%
	AC1 - AM22 - AM17 - AM16 - AM18 - AC1	41.68	48.19	16.91	13.50%
	AC1 - AM21 - AM20 - AM19 - AM15 - AM24 - AC1	50.81	57.73	6.92	11.99%
	AC2 - AM26 - AM8 - AM11 - AM23 - AC2	23.27	31.63	8.36	26.43%
	AC2 - AM2 - AM10 - AM9 - AM5 - AM13 - AC2	58.13	69.83	11.7	16.75%
	AC2 - AM6 - AM1 - AM7 - AM27 - AM12 - AC2	28.80	35.54	6.74	18.96%
		208.79	249.19	61.1	24.52%

Elaboración propia

La tabla 4.11 que representa las rutas a seguir en la propuesta Propuesta 4, define 6 rutas. Las 3 primeras relacionadas al abastecimiento desde el almacén central 1 (AC1) y las 3 restantes al almacén central 2 (AC2). La distancia ideal total para esta propuesta es de 208.79 Km y la distancia real total es de 249.19 km, esto teniendo en cuenta la suma de las distancias recorridas para la propuesta de la ruta 1 a la ruta 6. Observamos que la variación entre la distancia real e ideal es de 24.52% siendo la de mayor variación; sin embargo la distancia real recorrida en esta alternativa sigue manteniéndose como la mejor opción.

Tabla 4.12. Distancias Ideales vs Distancias Reales – Propuesta 5: Asignar primero, Rutear después (CAJ)

PROPUESTA 5	RUTA	DIST. IDEAL (Km)	DIST. REAL (Km)	DIF.	VAR.
Asignar primero, Rutear después (Clasificación Ascendente Jerárquica)	AC1 - AM17 - AM21 - AM20 - AM19 - AM18 - AM16 - AM15 - AC1	52.15	58.54	6.39	10.92%
	AC1 - AM22 - AM24 - AC1	12.83	16.56	3.73	22.52%
	AC1 - AM4 - AM25 - AM3 - AM14 - AC1	7.63	11.62	3.99	34.34%
	AC2 - AM9 - AM11 - AM23 - AC2	68.93	87.37	18.44	21.11%
	AC2 - AM5 - AM8 - AM10 - AC2	37.35	47.29	9.94	21.02%
	AC2 - AM12 - AM27 - AM1 - AM13 - AM2 - AM6 - AM26 - AC2	21.59	28.94	7.35	25.40%
		200.48	250.32	49.84	24.86%

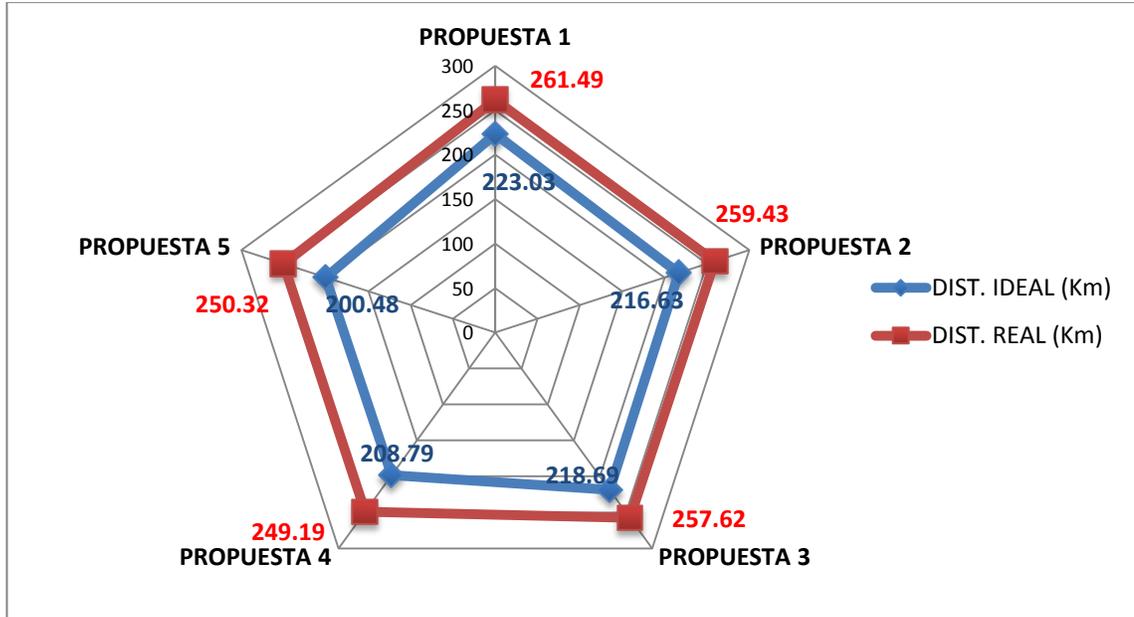
Elaboración propia

Tabla 4.13. Resumen Distancias Ideales y Distancias Reales

	DIST. IDEAL (Km)	DIST. REAL (Km)	DIF.	VAR
PROPUESTA 1	223.03	261.49	45.48	17.24%
PROPUESTA 2	216.63	259.43	42.80	19.76 %
PROPUESTA 3	218.69	257.62	38.93	23.38 %
PROPUESTA 4	208.79	249.19	61.10	24.52%
PROPUESTA 5	200.48	250.32	49.84	24.86%

A continuación en el gráfico 4.1 se muestra un resumen de los dimensionamientos ideales y reales por cada propuesta:

Gráfico 4.1. Gráfico de Resumen de dimensionamientos. Distancias ideales y reales



Elaboración Propia

Si nos centramos en las distancias ideales recorridas la Propuesta 4 es una de las que menor distancia presenta, mientras que la Propuesta 1 es la que mayor recorrido tiene. Si nos enfocamos en las distancias reales ocurre lo mismo, en resumen las distancias ideales y reales de la propuesta 4 son las mínimas recorridas.

Notamos que la propuesta seleccionada por representar la menor distancia recorrida, posee una de las mayores variaciones (24.52 %) que está referida al incremento entre la distancia ideal y recorrida; sin embargo se mantiene como la mejor opción tanto en distancia ideal y real; por lo que la variación en este caso no infiere sobre la alternativa elegida

4.3.2. Evaluación de Gastos de Distribución

Una vez obtenida las rutas a seguir y por ende la distancia asociada es necesario conocer el tipo de transporte que emplearíamos para poder estimar los recursos que se emplearían. Según Pedraza (2011), los mejores vehículos a emplear en la

distribución de la ayuda humanitaria debido a su capacidad y potencia son los vehículos pick up 4 x 4; además de esto, para el cálculo de los recursos empleados para atender a los damnificados se tendrán en cuenta las características específicas estándar de dichos vehículos y la demanda, representada por las personas a asistir.

Tabla 4.14: Características Vehículo Ayuda Humanitaria

Característica	Descripción
Capacidad de Motor	2500 cc
Número de Cilindros	4
Rendimiento Promedio	45 km/gal
Combustible	Diesel
Capacidad de Carga	1 TM

Fuente: Nissan/ Toyota
Elaboración Propia

Capacidad de carga total Pick Up ¹⁴	1 TM
Volumen que ocupan medicamentos en Pick Up ¹⁵	3 m ³
Unidad de empaque de medicinas ¹⁶	20 L - 40 L

UNHCR y International Federation of Red Cross and Crescent Societies
Elaboración Propia

Según INDECI, la unidad de empaque de medicinas, en este caso representado por la mochila de emergencia¹⁷, debería poder abastecer al menos a dos (02) personas con una carga promedio recomendada de 8 kg, que corresponde a una mochila con capacidad de 20 a 40 L. Se tomará el valor intermedio de 30 L para cálculos prácticos.

Realizando cálculos sencillos obtenemos:

- Mochilas = Volumen ocupado por medicinas en Pick Up/Unidad de empaque de Medicinas

$$3 \text{ m}^3 = 3000 \text{ L}$$

$$3000 \text{ l} \times \frac{1 \text{ Mochila}}{30 \text{ L}} = 100 \text{ mochilas}$$

- Personas a asistir = capacidad de atención por mochila x cantidad de mochilas en pick up

¹⁴ Tomado de Supplies and Food Handbook. UNHCR

¹⁵ Tomado de Handbook for Delegates, International Federation of Red Cross and Crescent Societies. Ginebra, 1977

¹⁶ Información obtenida de INDECI. Consulta: 31.08.2014. <http://www.indeci.gob.pe/multimedia.php?item=MjU=>

¹⁷ Información obtenida de INDECI. Consulta: 31.08.2014. <http://www.indeci.gob.pe/multimedia.php?item=MjU=>. Kit de emergencia

$$\frac{2 \text{ Personas}}{\text{Mochila}} \times 100 \text{ Mochilas} = 200 \text{ personas}$$

En conclusión, en cada viaje que realice un (01) transporte se atenderán a 200 personas.

A diferencia de que en la primera etapa se realizó la clusterización teniendo en cuenta las características propias de cada modelo (cercanía de puntos, puntos ordenados para visita en ruta); en este caso, se procedió a agrupar a las provincias de Lima y el Callao en 4 grandes sectores: Lima Norte, Lima Sur, Lima Centro, Lima Este y el Callao, según lo indicado por PREDES (2009), lo que nos permitirá estimar las personas a atender.

Tabla 4.15: Distritos y Sectores¹⁸

Distrito	Poblacion Afectada	Sector	Distrito	Poblacion Afectada	Sector
Ancón	751	LIMA NORTE	Miraflores	1902	LIMA CENTRAL
Ate	69954	LIMA ESTE	Pachacámac	15260	LIMA SUR
Barranco	7969	LIMA CENTRAL	Pucusana	2686	LIMA SUR
Bellavista	2810	CALLAO	Pueblo Libre	1877	LIMA CENTRAL
Breña	3031	LIMA CENTRAL	Puente Piedra	144323	LIMA NORTE
Callao	195954	CALLAO	Punta Hermosa	219	LIMA SUR
Carabaylo	127612	LIMA NORTE	Punta Negra	157	LIMA SUR
Carmen de la Legua	400	CALLAO	Rímac	4416	LIMA NORTE
Chaclacayo	815	LIMA ESTE	San Bartolo	1049	LIMA SUR
Chorrillos	51918	LIMA SUR	San Borja	2729	LIMA CENTRAL
Cieneguilla	258	LIMA ESTE	San Isidro	1374	LIMA CENTRAL
Comas	242235	LIMA NORTE	San Juan de Lurigancho	314549	LIMA ESTE
El Agustino	8913	LIMA ESTE	San Juan de Miraflores	128435	LIMA SUR
Independencia	4865	LIMA NORTE	San Luis	1102	LIMA CENTRAL
Jesús María	1672	LIMA CENTRAL	San Martín de Porres	6736	LIMA NORTE
La Molina	6971	LIMA ESTE	San Miguel	3185	LIMA CENTRAL
La Perla	2348	CALLAO	Santa Anita	15339	LIMA ESTE
La Punta	145	CALLAO	Santa María	74	LIMA SUR
La Victoria	6537	LIMA CENTRAL	Santa Rosa	850	CALLAO
Lima	18674	LIMA CENTRAL	Santiago de Surco	9512	LIMA CENTRAL
Lince	1272	LIMA CENTRAL	Surquillo	2240	LIMA CENTRAL
Los Olivos	9316	LIMA NORTE	Ventanilla	14435	CALLAO
Lurigancho	74186	LIMA ESTE	Villa el Salvador	113993	LIMA SUR
Lurín	36312	LIMA SUR	Villa María del Triunfo	133171	LIMA SUR
Magdalena del Mar	1204	LIMA CENTRAL			

Podemos observar que existen distritos que no cuentan con puntos para almacén de insumos médicos y otros con más de un almacén, es por esto que se optó por que

¹⁸ Verónica Serpa (2014) "Optimización y localización de almacenes de abastecimiento para la atención de un terremoto de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao"

cada almacén apoyara a los damnificados del sector al que pertenecen, independientemente del distrito en el que se encontraran y brindaran el apoyo de manera proporcional teniendo en cuenta la cantidad de almacenes totales que conforman su sector.

Tabla 4.16: Damnificados a abastecer por almacén

SECTOR	TOTAL DE DAMNIFICADOS	ALMACENES	TOTAL	DAMNIFICADOS A ABASTECER POR ALMACEN
LIMA NORTE	540254	AM8 y AM2	2	270127
LIMA SUR	483274	AM7	1	483274
LIMA CENTRO	64280	AM1, AM6, AM13 Y AM27	4	16070
LIMA ESTE	490985	AM5, AM9 Y AM10	3	163662
CALLAO	216942	AM3, AM4, AM11, AM12, AM14, AM15, AM16, AM17, AM18, AM19, AM20, AM21, AM22, AM23, AM24, AM25 y AM26	17	12762
	1795735			

Fuentes: INEI, SIRAD
Elaboración propia

Basados en la tabla 4.16 y en la mejor propuesta obtenida teniendo en cuenta la distancia recorrida, obtenemos:

Tabla 4.17: Damnificados a asistir por ruta según Propuesta 4

PROPUESTA 4								DAMNIFICADOS
RUTA 1	AC1	AM4	AM3	AM14	AM25	AC1		51044
DAMNIFICADOS		12762	12762	12762	12762			
RUTA 2	AC1	AM22	AM17	AM16	AM18	AC1		51044
DAMNIFICADOS		12762	12762	12762	12762			
RUTA 3	AC1	AM21	AM20	AM19	AM15	AM24	AC1	63805
DAMNIFICADOS		12762	12762	12762	12762	12762		
RUTA 4	AC2	AM26	AM8	AM11	AM23	AC2		308410
DAMNIFICADOS		12762	270127	12762	12762			
RUTA 5	AC2	AM2	AM10	AM9	AM5	AM13	AC2	777183
DAMNIFICADOS		270127	163662	163662	163662	16070		
RUTA 6	AC2	AM6	AM1	AM7	AM27	AM12	AC2	544245
DAMNIFICADOS		16070	16070	483274	16070	12762		
								1795748

Elaboración propia

En la tabla 4.17 se muestra la cantidad de damnificados por punto de almacenamiento en cada ruta y en la columna final de la derecha la cantidad total de damnificados a atender por ruta.

Ahora procedemos con el cálculo del costo de atención de la totalidad de los damnificados teniendo en cuenta el combustible empleado.

Tabla 4.18: Combustible empleado en S/. para asistir a todos los damnificados

	VIAJES (V)	DISTANCIA (D)	DISTANCIA TOTAL (VxD)	COSTO COMBUST ¹⁹
RUTA1	256	6.267	1604.352	S/. 497.35
RUTA2	256	48.19	12336.64	S/. 3,824.36
RUTA3	320	57.73	18473.6	S/. 5,726.82
RUTA4	1543	31.63	48805.09	S/. 15,129.58
RUTA5	3886	69.83	271359.38	S/. 84,121.41
RUTA6	2722	35.54	96739.88	S/. 29,989.36
				S/. 139,288.87

Elaboración propia

El costo del combustible empleado para atender a la totalidad de los damnificados ascendería a S/. 139 288,87 aproximadamente.

También podemos obtener información adicional importante, como por ejemplo la cantidad de viajes necesarios para atender a la totalidad de los damnificados teniendo en cuenta el número de vehículos empleados, tal como se detalla en la tabla 4.19.

Tabla 4.19: Cantidad de viajes y días empleados para asistir a damnificados

CANTIDAD VEHÍCULOS	PERSONAS ATENDIDAS POR FLOTA ENVIADA	VIAJES RUTA1	VIAJES RUTA2	VIAJES RUTA3	VIAJES RUTA4	VIAJES RUTA5	VIAJES RUTA6	VIAJES TOTALES	V PROM (Km/h) ²⁰	DÍAS
10	2000	26	26	32	155	389	273	901	40	233.88
25	5000	11	11	13	62	156	109	362	40	93.97
50	10000	6	6	7	31	78	55	183	40	47.50
75	15000	4	4	5	21	52	37	123	40	31.93
100	20000	3	3	4	16	39	28	93	40	24.14
300	60000	1	1	2	6	13	10	33	40	8.57
600	120000	1	1	1	3	7	5	18	40	4.67

Elaboración propia

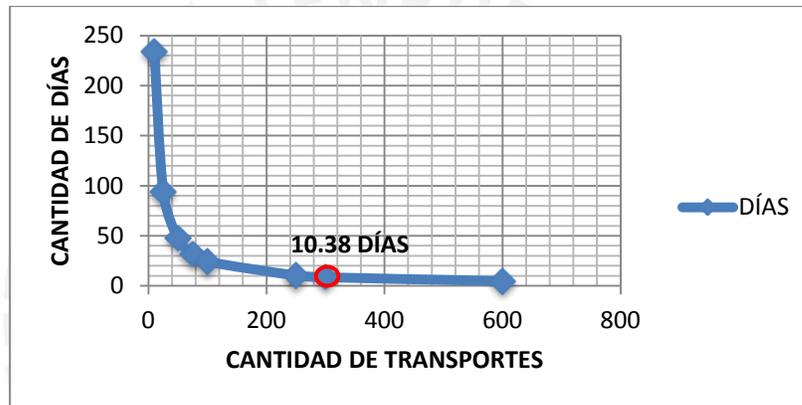
(5) Costo Galón Diesel S/.13.77. Información obtenida de OSINERGMIN. Consulta el 28.06.2014 <http://www.facilito.gob.pe/facilito/pages/facilito/menuPrecios.jsp>

²⁰ Reglamento Nacional de Tránsito (2013), Máxima velocidad promedio en calles

La cantidad de personas atendidas por viaje y de días empleados irá disminuyendo a mayor cantidad de vehículos asignados. Para el caso específico de 250 vehículos que se considera cantidad aceptable de vehículos a disponer en un desastre natural de este tipo obtenemos que se atenderían a 50 000 personas en un solo viaje de la flota total y que demorarían aproximadamente 10 días en asistir al 100% de los damnificados.

Inicialmente se podría contar con una flota permanente de 50 vehículos para luego subcontratar a través de empresas reconocidas que brindan servicio de transporte la diferencia faltante para completar la flota de 250.

Gráfico 4.2. Cantidad de Días vs Cantidad de Transportes



Otro factor importante a tener en cuenta es la capacidad de transporte de los vehículos empleados, por ejemplo con una capacidad de transporte del doble (atención de 400 personas por vehículo en cada viaje), se reduciría en 50% el tiempo empleado en la asistencia.

Finalmente, se podría obtener los días empleados que se necesitarían, en base a la cantidad de vehículos y los viajes empleados basándose en la siguiente fórmula resumen:

Y = Total de viajes

$$Y = U_1/((N)*Q) + U_2/((N)*Q) + U_3/((N)*Q) + U_4/((N)*Q) + U_5/((N)*Q) + U_6/((N)*Q) \dots$$

Donde N =Cantidad de personas atendidas por vehículo
 Q =Cantidad de vehículos disponibles para atención
 U_i =Damnificados a ayudar en Ruta i

Donde i = 1, 2, 3, ...

Z = Días empleados para atención de damnificados

$$Z = ((D * Y) / V) / 24$$

Donde D = Distancia total de ruta (en km) a seguir
 V = Velocidad promedio de transporte (en km/h)

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Existe un beneficio social importante generado por la Propuesta 4: Asignar primero, Rutear después (PPL-Método Gran Ruta) debido a que brinda una mejor alternativa en la capacidad de respuesta, en el que un segundo a favor podría significar salvar varias vidas. Además la distancia podría reducirse a 249.19 Km.
- La elección de la mejor propuesta se realiza a partir de las distancias reales recorridas en cada una de las cuatro propuestas, se tuvo en cuenta la menor cantidad de kilómetros que recorrerían los transportes desde los almacenes de distribución hasta los puntos de acopio.
- La distribución de la ayuda humanitaria por INDECI, en la práctica, carece de una total eficiencia; como ejemplo podemos tomar el último devastador terremoto ocurrido en la ciudad de Pisco el 15 de agosto del 2007, en el que Defensa Civil realizó la distribución de la ayuda humanitaria sin asegurar su envío a todos los puntos de la ciudad; priorizó en primera instancia los puntos más cercanos a abastecer, pero en muchos otros lugares se necesitaron con mayor primacía y se realizó, inclusive, un abastecimiento aleatorio.
- Las propuestas 1 y 2 planteadas también mediante programación lineal arrojaron los mismos resultados que su desarrollo a través del método de Clark y Wright, esto primordialmente por la cantidad reducida de nodos que conformaban cada cluster. No necesariamente se podría haber obtenido la misma ruta de visita a los puntos empleando estos dos métodos, tal como se observan en las propuestas 3 y 4.
- La importancia de la propuesta 4, que se perfila como la segunda mejor opción, radica en que la asignación de las clusters, además de basarse en la vulnerabilidad sísmica de las zonas donde se encuentran los puntos de acopio, también lo hace en función de la vulnerabilidad socioeconómica, vulnerabilidad

por mala accesibilidad, la vulnerabilidad por la exposición a peligros (que tiene en cuenta la densidad poblacional, el tipo de material de construcción, tipología, estado de conservación y altura de viviendas) y la cercanía de los puntos de acopio respecto al almacén central que los abastece a partir de lo cual se realiza la clusterización.

5.2 Recomendaciones

- Sería útil calcular los tiempos de carga, descarga y los tiempos asociados al tráfico ocasionado por bloqueos de carretera, ya que puede aumentar o reducir los tiempos de transporte y por ende la distancia recorrida no sería el único factor importante a analizar.
- Se recomienda incluir un análisis de sensibilidad por tipo de transporte y capacidad de abastecimiento de la flota, pues esto podría aumentar o disminuir considerablemente los recursos empleados.
- Se debe enfocar la resolución del VRP (Vehicle Routing Problem) a las más relevantes, de lo contrario el estudio sería poco práctico. Para nuestro caso se ha tomado como variable importante la distancia recorrida real.
- Podría complementarse el caso estudiado para diferentes tipos de puntos de acopio, tal es el caso de puntos de acopio de alimentos, de albergues, hospitales u otros y evaluar posibles ampliaciones en la cantidad de almacenes para ser incluidos en los modelos descritos.
- Podría considerarse información adicional sobre las probabilidades de bloqueos de rutas debido a su geografía, lo que se incluiría en el modelo que a su vez arrojaría un resultado no solo basado en la menor distancia recorrida sino también en la ruta con el mejor acceso teniendo en cuenta posibles derrumbes.
- Sería conveniente implementar un software o aplicación basado en los modelos descritos, de esta forma se obtendría las rutas a seguir de una manera rápida y

práctica teniendo en cuenta los datos más relevantes, además de incluir para estos casos la capacidad de almacenamiento de los transportes.

- INDECI en coordinación con el MTC podrían enfocarse en estudios similares para poder implementarlos de una manera completa y eficaz y reducir de esta manera los costos operativos de distribución y transporte con una mayor eficiencia en la prestación de la ayuda humanitaria.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABERASTURI, Bruno
2007 *Transporte de Carga en el Perú*. Ransa Comercial S.A. [diapositivas]
Lima: Ministerio De Transporte Y Comunicaciones. Consulta: 13 de
Noviembre de 2013.
<http://www.mtc.gob.pe/portal/consultas/cid/Boletines_CID/25_AGOSTO/ARCHIVO/transporte/descargar.pdf>
- BALINSKI, M. y R. QUANDT.
1964 *On an integer program for a delivery problem*
- BALLOU, Ronald.
2004 *Logística: administración de la cadena de suministro*. Naucalpan de
Juárez: Pearson Educación.
- BEASLEY, J.
1983 *Route First-Cluster Second Methods for Vehicle Routing*
- BRAMEL, J. y D. SIMCHI LEVI
1995 *A Location Based Heuristic For General Routing Problems*.
- CADILLO, José.
2011 *Estudio Comparativo de la Aplicación de Heurísticas al Problema de
Ruteo de vehículos*. Tesis para obtener título en Ciencias e Ingeniería
con mención en Ingeniería Industrial. Lima: Pontificia Universidad
Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- CARRASCO, Ruth y Jaime BARÁ
2010 *Logística y Tecnología en la Acción Humanitaria*
- CARREÑO, Adolfo.
2011 *Logística de la A a la Z*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
Fondo Editorial.

- CHANDES Jérôme y Gilles PACHÉ
s/a *Pensar la Acción Colectiva en el Contexto de la Logística Humanitaria: Las Lecciones Del Sismo De Pisco.*
- CLARKE G. y W. WRIGHT
1964 *Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points.*
- CÓRDOVA, Manuel.
2006 *Estadística aplicada.* Lima, Moshera.
- CORDEAU, Jean y Gilbert LAPORTE
2002 *Tabu Search Heuristics for the Vehicle Routing Problem.* Canadá
- CISMID.
2005 *Estudio de la vulnerabilidad y riesgo sísmico en 42 distritos de Lima Metropolitana y Callao.*
- CHRISTOFIDES N, A. MINGOZZI y P. TOTH.,
1981 *Exact Algorithms For The Vehicle Routing Problem, Based On Spanning Tree And Shortest Path Relaxations.*
- CUNY C., FREDERICK,
1983 *Disasters and Development,* Oxford University Press, Inc. New York, Oxford.
- DANTZIG, George, Delbert FULKERSON y Selmer JOHNSON
1954 *Solution of a Large-Scale Traveling-Salesman Problem.* California
- DAZA, Julio, Jairo MONTOYA y Franceso NARDUCCI
2010 *Resolución del Problema de Enrutamiento de Vehículos con Limitaciones de Capacidad Utilizando un Procedimiento Metaheurístico de Dos Fases.* Escuela de Ingeniería de Antioquía. Colombia.

- DISPARTE, Dante.
s/a *The Postman's Parallel*
- Fisher, M. L. y JAIKUMAR
1981 *A Generalized Assignment Heuristic For Vehicle Routing Networks*
- HILLIER, Frederick S.
2006 *Introducción a la Investigación de Operaciones*. México D.F.: McGraw-Hill.
- INDECI
2003 *Manual de Organización y Funciones de la Dirección Nacional de Logística*
- INDECI.
2009 *Gestión del Riesgo de Desastres Para la planificación del desarrollo local*.
- HAMEDIA Masoud, Ali HAGHANIB y Saini YANG
2012 *Reliable Transportation of Humanitarian Supplies In Disaster, Response: Model And Heuristic*. Energy Efficient Transportation Networks
- IBARRA, Fiorella.
2012 *Mejora en la Capacidad de Respuesta de la Cadena de Abastecimiento Humanitaria en Caso de Desastres*. Tesis para obtener título en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Industrial. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- JUSTEL, Ana, Ricardo FRAIMAN y Marcela SVARC.
2008 *Selection of Variables for Cluster Analysis and Classification Rule*.
Journal of the American Statistical Association.

- JUSTEL, Ana.
s/a TÉCNICAS DE ANÁLISIS MULTIVARIANTE PARA AGRUPACIÓN:
Métodos Cluster Técnicas de segmentación Clasificación no
supervisada. México. Consulta: 25/12/2013
<http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/ajustel/docencia/ad/AD10_11_Cluster.pdf>
- ORTLOFF, C. y A. KOLATA.
1993 *Climate and collapse: agro-ecological perspectives on the drought of the Tiwanaku State. Journal of Archaeological Science.*
- LIZARDO, Allan y Gustavo PÉREZ.
2009 *Gestión del Riesgo de Desastres: Un Enfoque Basado en Procesos.*
Proyecto de
Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina –
PREDECAN
- MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES
2003 Informe Final: Marco Teórico para la Planificación Vial Departamental.
Lima
- MOLE, R.H., y S.R. JAMESON
1976 *A Sequential Route-Building Algorithm Employing A Generalized Saving Criterion.*
- ORGANIZACION PARAMERICANA DE LA SALUD.
2000 *Manual Para el Manejo logístico de de suministros humanitarios*
- OLIVERA, Alfredo.
2004 *Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos.* Montevideo:
Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de la
República.
- PEDRAZA, A.J.

- 2010 *Field vehicle fleet management in humanitarian operations: A case based approach* (2011).
- PNUD, INDECI y ECHO
2009 *Proyecto de Preparación ante Desastre Sísmica y/o Tsunami y Recuperación Temprana en Lima y Callao*
 - PREDES
2010 *Diseño de escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao, Perú.*
 - SAENZ, Javier
2007 *Los Afectados Denuncian Que Siguen Si Recibir La Ayuda Adecuada. Tres Meses Después Del Seísmo, Hay Graves Deficiencias En Servicios E Infraestructuras.*
<http://pepitorias.blogspot.com/2007/11/per-terremoto.html>
 - SERPA, Verónica.
2013 *Optimización y localización de almacenes de abastecimiento para la atención de un terremoto de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao.* Tesis para obtener título en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Industrial. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería.
 - SHIMADA, Izumi.
1995 *Cultura Sican: Dios, Riqueza y Poder en la Costa Norte del Perú.* Funcación del Banco Continental para el Fomento de la Educación y la Cultura , Lima
 - TOMASINI, Rolando M.
2009 *Humanitarian logistics.* York, NY: Palgrave Macmillan
 - THOMAS, A. y L. KOPCZAK.

2005 *From logistics to supply chain management: The path forward in the humanitarian sector.* San Francisco, CA: Fritz Institute.

- HUERTAS, Lorenzo.

2009 *Injurias del Tiempo: Desastres Naturales del Perú.* Universidad Ricardo Palma, Lima.

- VILLARDON, José Luis

2007 *Introducción al Análisis de Clusters, Dpto. Estadística, Universidad de Salamanca. España.*

- WINSTON, Wayne L.

2005 *Investigación de operaciones: aplicaciones y algoritmos.* Pie de Imprenta: México, D.F.: Thomson

- WIJKMAN, Anders y Lloyd TIMBERLAKE.

1985 *Desastres Naturales: ¿Fuerza Mayor u Obra del Hombre?.* Washington, D.C; Instituto Internacional para el Medio Ambiente y el Desarrollo.

- WREN, A. y A. HOLLIDAY

1972 *Computer Scheduling Of Vehicles From One Or More Depots To A Number Of Delivery Points*