

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PROPUESTA DE PLAN DE RUTEO PARA LA RÁPIDA  
DISTRIBUCIÓN DE SUMINISTROS DE AYUDA HUMANITARIA  
ALIMENTARIA MEDIANTE MODELO VRP EN LIMA Y SUS  
DISTRITOS**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial**

**AUTOR:**

Jeancarlo Irwin Ramos Cáceres

**ASESOR:**

Christian Santos Cornejo Sánchez

Lima, junio, 2025

## Informe de similitud

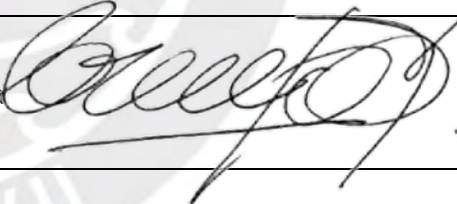
Yo, Christian Santos Cornejo Sánchez, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada

Propuesta de plan de ruteo para la rápida distribución de suministros de ayuda  
humanitaria alimentaria mediante modelo VRP en Lima y sus distritos

del autor Jeancarlo Irwin Ramos Cáceres, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 21 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 06/06/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la tesis, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lima, 6 de junio de 2025

Apellidos y nombres del asesor: Cornejo Sánchez, Christian Santos	
DNI: 09868135	Firma 
ORCID: 0000-0003-1297-5510	

## RESUMEN

Los Lineamientos para la Adquisición, Almacenamiento y Distribución de Alimentos para la Atención de Emergencias o Desastres (INDECI, 2017) prevén la asignación de recursos para cubrir necesidades básicas primordiales de alimentación. En relación con lo anterior, esta tesis se centra en la distribución de la ayuda humanitaria alimentaria con un enfoque científico y cuantitativo que brinde soporte a los procedimientos y medidas de respuesta ante desastres naturales, específicamente en el escenario de un terremoto de magnitud 8 Mw.

En esta investigación se presenta un modelo matemático VRP (*Vehicle Routing Problem*) con escenarios para 15; 16; 17; 18; y 19 centros para la obtención de la ruta de distribución de bienes de ayuda humanitaria alimentaria óptima con capacidades volumétricas a transportar definidas en cada escenario después de un terremoto hipotético acontecido en Lima y con magnitud de 8 Mw y con el número de damnificados estimado en 493 520 ciudadanos (PREDES, 2009).

Se concluye que el escenario con 18 centros de atención es el que presenta el menor recorrido, con 257 km a recorrer. Además, el modelo VRP propuesto muestra una mayor complejidad computacional a partir de los 20 centros de atención. Los escenarios analizados indican que la menor distancia recorrida se obtiene tanto para 18 como para 19 centros de atención, aunque el tiempo de corrida para el escenario de 19 centros de atención aumenta en un 95 % en comparación con el de 18. Debido a este incremento en el tiempo de corrida para el escenario con 19 centros de atención, se recomienda optar por el de 18 centros de atención, ya que ambos escenarios tienen la misma distancia a recorrer según los resultados.

Por último, se cumple con las condiciones que establece el INDECI de atender a los damnificados durante las primeras 72 horas de ocurrido un evento natural a pesar de que no se demuestra que 14.38 horas son suficientes para atender a todos los damnificados, se puede completar un ciclo de 14.38 horas cada 24 horas durante las 72 primeras horas de emergencia, cumpliendo así con los requerimientos de INDECI.

## ÍNDICE GENERAL

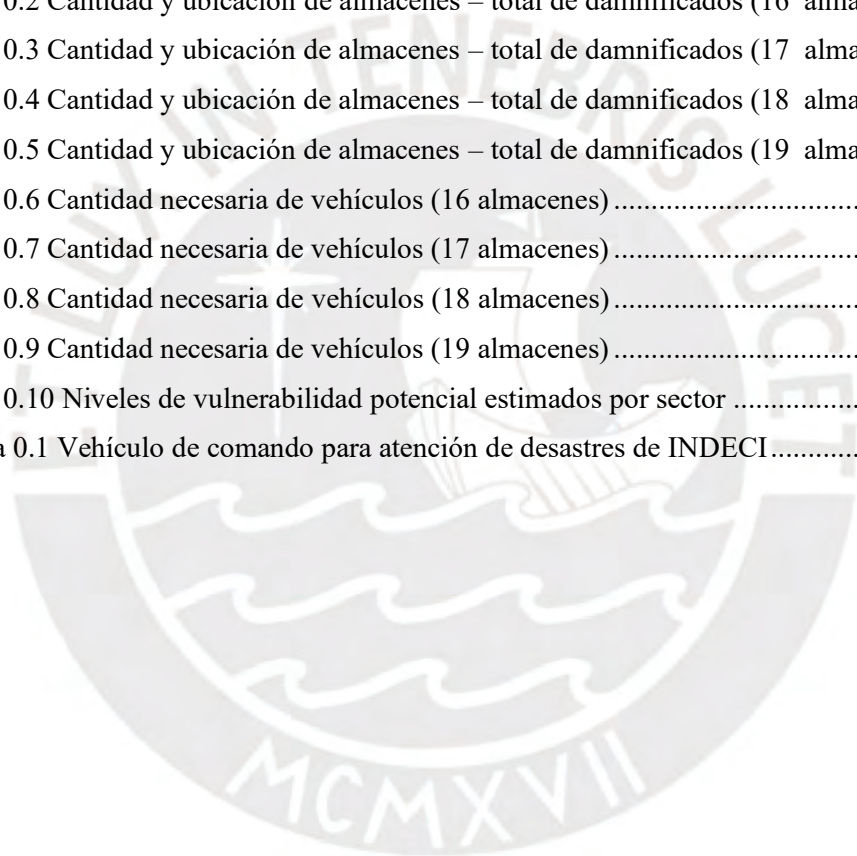
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO .....	3
1.1. Marco conceptual .....	3
1.1.1. Logística humanitaria .....	3
1.1.2. Peligro natural .....	3
1.1.3. Exposición.....	4
1.1.4. Vulnerabilidad .....	5
1.1.5. Desastre .....	6
1.1.6. Riesgo de desastre .....	6
1.1.7. Desastres naturales históricos en el Perú .....	8
1.2. Revisión de la literatura .....	8
CAPÍTULO 2. PROBLEMÁTICA Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....	11
2.1. El Cinturón de Fuego del Pacífico .....	11
2.2. Ubicación del Perú respecto al Cinturón de Fuego .....	12
2.2.1. Características tectónicas del Perú.....	12
2.3. Ausencia sísmica en el Perú .....	13
2.3.1. Lagunas sísmicas .....	13
2.4. Exposición de la población costera del borde oeste del Perú .....	16
2.5. Vulnerabilidad de la población costera del borde oeste del Perú .....	16
2.5.1. Vulnerabilidad geofísica.....	16
2.5.2. Vulnerabilidad física .....	22
2.5.3. Vulnerabilidad socioeconómica.....	22
2.6. Asistencia alimentaria en emergencias en el Perú .....	22
2.7. Programación de la atención alimentaria .....	23
2.8. Adquisición de los alimentos.....	23
2.9. Aporte nutricional de la ración distribuida .....	24
2.10. Cálculo y costeo de la cantidad total de alimentos.....	25
CAPÍTULO 3. ALGUNOS ANTECEDENTES .....	27
CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL MODELO .....	28
4.1. Descripción del problema.....	28
4.2. Desarrollo de variables necesarias para el modelo.....	28
4.2.1. Almacenes de Defensa Civil a nivel nacional .....	28
4.2.2. Escenario sísmico .....	33
4.2.3. Alcance geográfico del estudio.....	34
4.2.4. Indicadores de estimación de la vulnerabilidad .....	36
4.2.5. Metodología para determinar el número de damnificados .....	38

4.2.6.	Determinación del número de afectados .....	41
4.2.7.	Cantidad y ubicación de almacenes necesarios para el modelo .....	42
4.2.8.	Kit de ayuda humanitaria alimentaria .....	44
4.2.9.	Capacidad de los vehículos de transporte y cantidad necesaria .....	44
4.2.10.	El modelo matemático .....	45
4.3.	Modelo matemático en lenguaje de programación Python .....	48
4.3.1.	Con 15 centros de distribución (almacenes o clientes) .....	49
4.3.2.	Con 16 centros de distribución (almacenes o clientes) .....	53
4.3.3.	Con 17 centros de distribución (almacenes o clientes) .....	56
4.3.4.	Con 18 centros de distribución (almacenes o clientes) .....	59
4.3.5.	Con 19 centros de distribución (almacenes o clientes) .....	61
4.3.6.	Con 29 centros de distribución (almacenes o clientes) .....	64
CAPÍTULO 5. Análisis de resultados .....		69
5.1.	Corridas realizadas .....	69
5.1.1.	Con 15 centros de atención.....	69
5.1.2.	Con 16 centros de atención.....	71
5.1.3.	Con 17 centros de atención.....	73
5.1.4.	Con 18 centros de atención.....	75
5.1.5.	Con 19 centros de atención.....	77
5.1.6.	Con 29 centros de atención.....	79
5.2.	De los resultados .....	82
5.3.	Beneficio de la propuesta (escenario con 18 centros de atención) .....	87
CAPÍTULO 6. Conclusiones y recomendaciones .....		88
6.1.	Conclusiones .....	88
6.2.	Recomendaciones.....	89
Referencias.....		90
Anexos.....		96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Conceptos y métricas de la vulnerabilidad social .....	7
Tabla 2.1 Perú: PT y TCA, 1940 - 2017.....	17
Tabla 2.2 Parámetros de suelo según la Norma E-030 .....	19
Tabla 2.3 Perú: Población censada y tasa de crecimiento promedio de los 20 distritos más poblados de Lima en los años 1993, 2007 y 2017 .....	21
Tabla 2.4 Valor nutricional diario de la ración alimentaria per cápita.....	24
Tabla 2.5 Ración logística diaria de alimentos per cápita.....	25
Tabla 4.1 Almacenes nacionales .....	29
Tabla 4.2 Almacenes regionales.....	29
Tabla 4.3 Cantidad de almacenes según el tipo .....	30
Tabla 4.4 Ubicación de almacenes en LM y Callao .....	32
Tabla 4.5 Distritos de Lima en el alcance del estudio.....	35
Tabla 4.6 Distritos no sectorizados.....	36
Tabla 4.7 Densidad poblacional .....	37
Tabla 4.8 Parámetros e indicadores de estimación de vulnerabilidad en el sector urbano .....	37
Tabla 4.9 Ponderación para la estimación de vulnerabilidad según escenario .....	38
Tabla 4.10 Ejemplo de niveles de vulnerabilidad potencial estimados por sectores (ver anexo 7).....	38
Tabla 4.11 Rangos para la elección del nivel de riesgo en el escenario propuesto .....	39
Tabla 4.12 Ejemplo de selección de rango de población afectada .....	39
Tabla 4.13 Selección de rango para estimación de daños en la población por distrito y porcentaje de damnificados, en el alcance de la tesis .....	40
Tabla 4.14 Población afectada de acuerdo con los niveles de riesgo.....	41
Tabla 4.15 Conteo total de población afectada en el escenario propuesto para los sectores del alcance del estudio .....	42
Tabla 4.16 Conteo total de población damnificada a considerar para el modelo propuesto... ..	42
Tabla 4.17 Cantidad y ubicación de almacenes – cantidad de damnificados (15 almacenes) ..	43
Tabla 4.18 Cantidad necesaria de vehículos (15 almacenes) .....	45
Tabla 4.19 Capacidad volumétrica requerida para satisfacer la demanda de los clientes - 15 almacenes.....	50
Tabla 4.20 Coordenadas cartesianas de 15 centros de distribución propuestos .....	51
Tabla 4.21 Capacidad volumétrica requerida para satisfacer la demanda de los clientes - 16 almacenes.....	53
Tabla 4.22 Coordenadas cartesianas de 16 centros de distribución propuestos .....	54
Tabla 4.23 Capacidad volumétrica requerida para satisfacer la demanda de los clientes - 17 almacenes.....	56
Tabla 4.24 Coordenadas cartesianas de centros de distribución propuestos .....	57

Tabla 4.25 Capacidad volumétrica requerida para satisfacer la demanda de los clientes - 18 almacenes.....	59
Tabla 4.26 Coordenadas cartesianas de los 18 centros de distribución propuestos.....	60
Tabla 4.27 Capacidad volumétrica requerida para satisfacer la demanda de los clientes - 19 almacenes.....	62
Tabla 4.28 Coordenadas cartesianas de los 19 centros de distribución propuestos.....	63
Tabla 4.29 Capacidad volumétrica requerida para satisfacer la demanda de los clientes - 29 almacenes.....	65
Tabla 4.30 Coordenadas cartesianas de centros de distribución propuestos .....	66
Tabla 5.1 Capacidad de cobertura .....	84
Tabla 0.1 Distritos sectorizados del proyecto de PREDES 2009 .....	100
Tabla 0.2 Cantidad y ubicación de almacenes – total de damnificados (16 almacenes) .....	101
Tabla 0.3 Cantidad y ubicación de almacenes – total de damnificados (17 almacenes) .....	102
Tabla 0.4 Cantidad y ubicación de almacenes – total de damnificados (18 almacenes) .....	103
Tabla 0.5 Cantidad y ubicación de almacenes – total de damnificados (19 almacenes) .....	104
Tabla 0.6 Cantidad necesaria de vehículos (16 almacenes) .....	105
Tabla 0.7 Cantidad necesaria de vehículos (17 almacenes) .....	106
Tabla 0.8 Cantidad necesaria de vehículos (18 almacenes) .....	107
Tabla 0.9 Cantidad necesaria de vehículos (19 almacenes) .....	108
Tabla 0.10 Niveles de vulnerabilidad potencial estimados por sector .....	109
Figura 0.1 Vehículo de comando para atención de desastres de INDECI.....	110



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1.1 Mecanismo detrás de la emergencia de desastres naturales.....	6
Figura 1.2 Terremotos en Perú desde 1687 .....	9
Figura 2.1 Arcos volcánicos y fosas oceánicas en la cuenca del Pacífico forman el CFP .....	11
Figura 2.2 Unidades estructurales (UE) de Perú.....	12
Figura 2.3 Borde occidental de Perú y Chile, y distribución de áreas de ruptura y lagunas sísmicas durante los siglos XIX, XX y XXI.....	14
Figura 2.4 Distribución espacial de las zonas de fractura relacionadas a los sismos de mayor magnitud e intensidad ocurridos en la franja occidental de Perú entre los años 1500 al 1700 15	
Figura 2.5 Distribución espacial de las zonas de fractura relacionadas a los sismos de mayor magnitud e intensidad ocurridos en la franja occidental de Perú entre los años 1701 al 1850 15	
Figura 2.6 Distribución espacial de las zonas de fractura relacionadas a los sismos de mayor magnitud e intensidad ocurridos en la franja occidental de Perú entre los años 1851 al 2000 16	
Figura 2.7 Cuencas hidrográficas en Lima .....	18
Figura 2.8 Mapa de zonificación de tipos de suelos para LM.....	20
Figura 2.9 Pasos a seguir para la adquisición de alimentos .....	23
Figura 2.10 Cálculo de la cantidad total de alimentos .....	26
Figura 4.1 Almacenes de INDECI.....	31
Figura 4.2 Densidad espacial de sismos históricos, referencia eje AB– Litoral central .....	33
Figura 4.3 Corte AB transversal (izquierda) y número de sismos en el corte AB (derecha)..	34
Figura 4.4 Dimensiones del kit de ayuda alimentaria .....	44
Figura 4.5 Ubicación de los centros de distribución en coordenadas cartesianas – 15 clientes .....	51
Figura 4.6 Ubicación de los centros de distribución en coordenadas cartesianas – 16 clientes .....	55
Figura 4.7 Ubicación de los centros de distribución en coordenadas cartesianas – 17 clientes .....	58
Figura 4.8 Ubicación de los CD en coordenadas cartesianas – 18 clientes.....	61
Figura 4.9 Ubicación de los CD en coordenadas cartesianas – 19 clientes.....	64
Figura 4.10 Ubicación de los CD en coordenadas cartesianas – 29 clientes.....	67
Figura 5.1 Solución óptima - 15 centros de distribución .....	70
Figura 5.2 Solución óptima - 16 centros de distribución .....	72
Figura 5.3 Solución óptima - 17 centros de distribución .....	74
Figura 5.4 Solución óptima - 18 centros de distribución .....	76
Figura 5.5 Solución óptima - 19 centros de distribución .....	78
Figura 5.6 Tiempo de corrida máximo - 29 CD, sin encontrar óptimo .....	79
Figura 5.7 Solución factible - 29 centros de distribución .....	81
Figura 5.8. El código corre por 9 horas, sin encontrar solución óptima (20 centros de distribución).....	82

Figura 5.9. El código corre por 11.5 horas, sin encontrar solución óptima (20 centros de distribución) .....	82
Figura 5.10. El código corre por 20 horas, sin encontrar solución óptima (20 centros de distribución) .....	83
Figura 5.11. El código corre por 19 horas, sin encontrar solución óptima (29 centros de distribución) .....	83
Figura 5.12 Tiempo de corrida por escenario de centros de distribución (s) .....	85
Figura 5.13 Nivel de utilización de vehículos por escenario de centros de distribución .....	85
Figura 5.14 Distancia recorrida (km) por escenario de centros de distribución .....	86
Figura 5.15 Tiempo de atención (h) por escenario de centros de distribución a 20 km/h .....	86



## LISTA DE ACRÓNIMOS

AAD – Adquisición, Almacenamiento y Distribución

AN – Almacenes Nacionales

CALA – Centros de Apoyo Logístico Adelantado

CD – Centros de Distribución

CDSRNC – Código de Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Construcciones

CFP – Cinturón de Fuego del Pacífico

CH – Carta Humanitaria

CISMID – Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres

DD – Direcciones Desconcentradas

GL – Gobiernos Locales

GOAASE – Guía de Orientación de la Asistencia Alimentaria en Situaciones de Emergencia

GR – Gobiernos Regionales

IGP – Instituto Geofísico del Perú

INEI – Instituto Nacional de Estadística e Informática

LAADAAED – Los Lineamientos para la Adquisición, Almacenamiento y Distribución de Alimentos para la Atención de Emergencias o Desastres

LM – Lima Metropolitana

MML – Municipalidad Metropolitana de Lima

NGDC/WDS – National Geophysical Data Center / World Data Service

NV – Niveles de Vulnerabilidad

PLABAH – Plan Logístico Anual de Bienes de Ayuda Humanitaria Anual

PPRRD – Plan de Prevención y Reducción de Riesgos de Desastres de Lima Metropolitana

PT – Población Total

RVAED – Reducción de Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres

SGCA – Secretaría General de la Comunidad Andina

SJL – San Juan de Lurigancho

SMP – San Martín de Porres

SNGRD – Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres

TCA – Tasa de Crecimiento Anual

UE – Unidades estructurales

# INTRODUCCIÓN

Debido a su ubicación dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico (CFP), el Perú es un país relevante como objeto de estudio sísmico. Este se encuentra expuesto a un constante riesgo de desastre reflejado en su historia sísmica, como el caso del "Gran Terremoto" en Áncash ocurrido el 31 de mayo de 1970, recordado por los daños y muerte provocados. Este estudio aborda el riesgo de silencio sísmico en el litoral del centro país y estima la cantidad de afectados que podría causar un terremoto de magnitud 8 Mw, después evaluar el nivel de exposición y vulnerabilidad de Lima y su población.

Esta tesis propone un modelo matemático basado en *Vehicle Routing Problem* (VRP) con el objetivo de obtener la ruta óptima de distribución de bienes de ayuda humanitaria alimentaria para satisfacer la demanda de los clientes (centros de distribución) en caso de terremoto hipotéticamente acontecido en la costa de la capital del Perú.

En el primer capítulo, se define el marco teórico y se presentan conceptos como el peligro natural, la exposición, y la vulnerabilidad que brindan la perspectiva requerida al enfrentar un riesgo de desastre. El riesgo de desastre por movimientos telúricos en el Perú es entendido a partir de su historia y la proclividad del país de que ocurra un evento natural de este tipo.

En el segundo capítulo se diagnostica la situación actual a partir de las condiciones geográficas del Perú dentro del CFP, también se analiza la relevancia del Perú como objeto de estudio sísmico para posteriormente tratar el silencio sísmico en la Región Lima. Se presenta la importancia de las lagunas sísmicas (Tavera y Bernal, 2005) como motivador de la prevención. A continuación se presenta la vulnerabilidad física, geofísica y socioeconómica de Lima y su población para entender la importancia de la planificación en la respuesta ante emergencias. Finalmente, se analiza la documentación y procedimientos estatales (e.g., normas legales, directivas, resoluciones jefaturales y leyes) establecidos por INDECI concernientes a la programación, adquisición y distribución humanitaria alimentaria que serían ejecutados en caso de un terremoto.

En el tercer capítulo se describe el problema, se plantea la intensidad de un escenario de terremoto en el litoral limeño e identifican las variables pertinentes tales como el número de damnificados, la cantidad y ubicación de almacenes, las dimensiones del kit de ayuda humanitaria alimentaria y la capacidad volumétrica de los vehículos que los transportará. Estas variables son necesarias para formular el modelo matemático que permite optimizar la ruta hacia los centros de distribución según la estimación de damnificados. Después se presentan los antecedentes sobre ruteo y rápida distribución de bienes que enmarcan al modelo matemático propuesto y resuelto para diferentes escenarios en código Python.

En el cuarto capítulo se analizan y comparan los resultados de cada escenario como el tiempo de corrida del código para cada escenario hasta encontrar una solución óptima y la distancia resultante en km de la ruta que se obtiene.

Finalmente, en el quinto y último capítulo se presentan las conclusiones y discuten las recomendaciones de esta tesis.



# CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Marco conceptual

### 1.1.1. Logística humanitaria

Para que una acción sea humanitaria, tres principios ampliamente aceptados son la humanidad, neutralidad e imparcialidad (Tomasini & Van Wassenhove, 2009); esos principios implican varios aspectos: que el sufrimiento humano debe ser aliviado dondequiera que se encuentre; que la ayuda debe proporcionarse sin sesgo ni afiliación a una parte en el conflicto, y que se debe brindar asistencia sin discriminación y con prioridad según las necesidades más urgentes, respectivamente. En relación con lo anterior, Habib et al., (2016) definen la logística humanitaria como el procedimiento destinado a trasladar a las personas desde zonas afectadas por una catástrofe hacia lugares seguros mediante una planificación, ejecución y supervisión adecuadas. Esto se logra optimizando la gestión de recursos, así como el manejo y almacenamiento de suministros, con el objetivo de reducir el sufrimiento de las poblaciones vulnerables.

Para comprender los aspectos involucrados en esta rama de la logística, es necesario definir algunos conceptos.

### 1.1.2. Peligro natural

Según The World Bank (2010) un peligro natural es un proceso o fenómeno natural con efectos adversos sobre la vida, miembros o propiedades y puede ocasionar pérdida de medios de vida y servicios, trastornos sociales y económicos o daños al medio ambiente (United Nations International Strategy for Disaster Reduction, [UNISDR], 2009). Haddow et al. (2017) añaden que “son fuentes de exposición al riesgo que se derivan del entorno natural como resultado del dinamismo hidrológico, meteorológico, sísmico, geológico, volcánico, movimiento de masas u otros procesos naturales”. Debe quedar claro que el peligro se interpreta no como un evento físico como tal, sino por la magnitud del peligro que representa para los activos y la población (Lavell & Maskrey, 2014). En consecuencia, los peligros naturales pueden ser clasificados por causa y divididos en las siguientes categorías según su relevancia para este trabajo de tesis.

#### **Peligros geofísicos (interpretado de *Geophysical hazard*, EM-DAT)**

Este término se usa indistintamente con el término riesgo geológico (Traducido del Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. Emergency Events Database [EM-DAT], 2018). Estos peligros son conducidos por procesos geológicos (i.e., la Tierra), en particular, la tectónica de placas y abarcan deslizamientos de tierra y derrumbes, erupciones volcánicas, terremotos y

tsunamis, entre otros. En general, los eventos geológicos extremos están más allá de la influencia humana (Geographic Perspectives on Sustainability and Human-Environment Systems-PennState College of Earth and Mineral Sciences [GEOG 30N], 2018).

### **Peligros meteorológicos**

Peligro derivado de fenómenos meteorológicos intensos y de corta duración, que varían en escala desde micro hasta meso-escala y que pueden persistir desde pocos minutos hasta varios días (EM-DAT, 2018). Estos peligros son provocados por procesos meteorológicos (i.e., clima), relacionados con la temperatura y el viento. Incluye olas de calor, frío, ciclones/huracanes y lluvias heladas. Los ciclones son comúnmente llamados huracanes en el Atlántico y tifones en el Océano Pacífico. (GEOG 30N, 2018).

### **Peligros hidrológicos**

Peligro originado por la presencia, desplazamiento y distribución del agua dulce y salada tanto en la superficie como en el subsuelo (EM-DAT, 2018). Esto incluye inundaciones, sequías, aludes y tsunamis. Las inundaciones y las sequías pueden causar grandes daños a la agricultura y se encuentran entre los principales contribuyentes a la hambruna (GEOG 30N, 2018).

### **Peligros biológicos**

Peligro generado por el contacto con organismos vivos y sus compuestos tóxicos (e.g., veneno, moho), así como por enfermedades transmitidas por vectores que los pueden portar. Ejemplos de esto incluyen animales e insectos venenosos, plantas venenosas y mosquitos que transmiten patógenos como bacterias, parásitos o virus (e.g., la malaria) (UNISDR, 2018).

Esto incluye varios tipos de enfermedades, incluidas las enfermedades infecciosas que se contagian de persona a persona y que amenazan con infectar a grandes porciones de la población humana (GEOG 30N, 2018).

Como se puede apreciar, los peligros naturales son procesos inherentes al dinamismo del planeta Tierra y los elementos que lo conforman (i.e., el clima y agua). Estos peligros no representan riesgo inmediato para poblaciones humanas a menos que exista exposición y vulnerabilidad. Por ello, es necesario conocer estos conceptos para entender qué es un desastre natural.

### **1.1.3. Exposición**

Son las personas, propiedades, sistemas u otros elementos presentes en las zonas de peligro que, por lo tanto, están sujetos a posibles pérdidas (UNISDR, 2009). También entendida como una situación de vulnerabilidad derivada de la ubicación, posición o localización de una persona,

objeto o sistema expuesto a un peligro natural (The World Bank [2010], Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno El Niño [CIIFEN], 2018). La exposición a los peligros y la vulnerabilidad se construyen socialmente a través de la interacción de procesos económicos, territoriales, culturales y políticos que operan a diferentes escalas espaciales y temporales (Lavell & Maskrey, 2014) (e.g., las diferencias de acceso a extracción de agua subterránea y vertederos apropiados por poblaciones con menos recursos económicos).

#### **1.1.4. Vulnerabilidad**

Es la propensión humana a sufrir daños y pérdidas (Lavell & Maskrey, 2014). Por otro lado, (Maskrey, 1993) afirma que no toda situación que afronta un ser humano es vulnerable, sino que una población se considera vulnerable cuando está expuesta a sufrir daño si ocurriese un evento natural peligroso y como consecuencia que ocasione daños a la salud de la persona, las propiedades, (Anderson, 1993; Maskrey, 1993).

En el Perú, el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2005, p. 511) se refiere a las dimensiones vulnerabilidad y exposición; en ambos casos frente a la ocurrencia de una tercera dimensión, el peligro natural. Asimismo, clasifica a la vulnerabilidad en varios tipos: física, social, económica, cultural e institucional.

Con respecto a la vulnerabilidad social, Cutter et al. (2003) señalan la existencia de 17 dimensiones en la vulnerabilidad de una sociedad (e.g, riqueza personal, edad, densidad de infraestructura, dependencia de un solo factor económico, raza afro-americana o asiática, etnicidad nativo-norteamericana, ingreso per cápita y otros).

En el Perú, Glave et al. (2008) menciona en su investigación centrada en un estudio de casos no exclusivamente rurales que el efecto de los desastres naturales en las tasas de pobreza oscila entre 16% y 23%. Asimismo, que un evento natural por año aumentará las tasas de pobreza a nivel provincial y que los hogares que tienen menos acceso a servicios públicos esenciales y que tienen una mayor proporción de ingresos agrícolas se ven especialmente perjudicados. Finalmente, los desastres naturales afectan negativamente la tasa de crecimiento del consumo mensual per cápita. (p. 33)

Kámiche y Pacheco (2010), expande el estudio de factores de vulnerabilidad en un análisis empírico para el Perú que considera la infraestructura de las viviendas, acceso a servicios públicos esenciales y secundarios, edad de los jefes de hogar, así como su nivel académico, lengua materna y demás. Para llevar el estudio realizado por Cutter et al. (2003) al caso peruano, se filtran los factores que afectan a la vulnerabilidad social tomando en cuenta los resultados obtenidos por Glave et al. (2008) y Kámiche y Pacheco (2010). De esta manera, se obtienen los factores de vulnerabilidad social para el Perú mostrados la tabla 1.1.

### 1.1.5. Desastre

Quarantelli (1985) detalla que el impacto de los desastres naturales resulta en una perturbación grave del funcionamiento de una comunidad o sociedad, provocando pérdidas e impactos humanos, materiales, económicos o ambientales de gran magnitud, que exceden la capacidad de la comunidad afectada para manejar la situación con sus propios recursos (UNISDR, 2009). Desastre es el efecto del peligro natural sobre la sociedad como resultado de la combinación de la exposición y la vulnerabilidad. Por tanto, en sentido estricto, los desastres y no los peligros naturales son los que ocasionan muertes y daños (The World Bank, 2010).

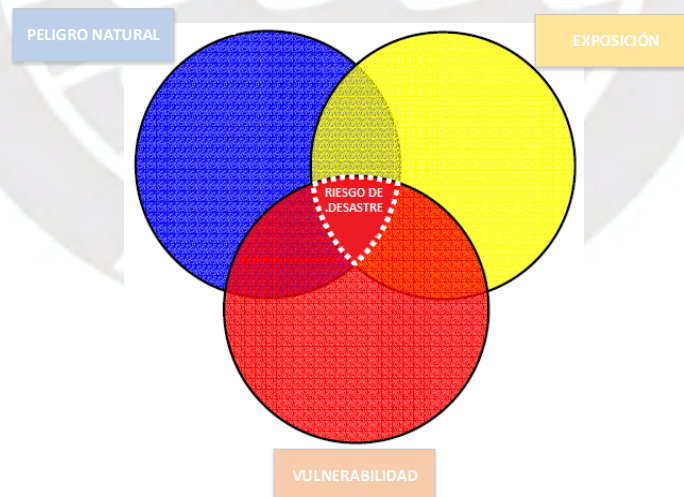
### 1.1.6. Riesgo de desastre

Son las posibles pérdidas por desastres, vidas, estado de salud, estilos de vida, activos y servicios, que podrían ocurrir en una comunidad particular o en una sociedad durante un período de tiempo futuro específico (UNISDR, 2009). Las consecuencias y desencadenamiento del desastre natural dependen del riesgo de desastre que se calcula a menudo como una función multiplicativa del peligro natural, la exposición y la vulnerabilidad (The World Bank, 2010).

$$\text{Riesgo de desastre} = \text{Peligro Natural} * \text{Exposición} * \text{Vulnerabilidad}$$

La relación es directa y “multiplicativa porque para que exista riesgo de desastre es necesario que concurren los tres elementos” (The World Bank, 2010, p. 6), mostrados en la figura 1.1.

Figura 1.1 Mecanismo detrás de la emergencia de desastres naturales



Fuente: adaptado de Asian Disaster Reduction Center (ADRC, 2005)

Tabla 1.1 Conceptos y métricas de la vulnerabilidad social

<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Incrementa (+) o disminuye (-) la vulnerabilidad</b>
Estatus socioeconómico (ingresos, poder político, prestigio)	La habilidad de absorber pérdidas y repotenciar la resiliencia ante amenazas. La riqueza ayuda a las comunidades a absorber los impactos de la naturaleza y a recuperarse de las pérdidas de manera más rápida.	Alto estatus (-) bajo estatus o ingreso (-)
Edad	Los extremos del espectro de las edades afectan a la capacidad de las personas para escapar del peligro. Los padres invierten tiempo y dinero cuidando a sus niños cuando los servicios de cuidado de los mismos fallan; mientras que los adultos mayores podrían tener restricciones de movimiento o problemas para movilizarse incrementando la responsabilidad de cuidado y bajando la resiliencia de la comunidad.	Adulto mayor (+) niño (+)
Zona rural o urbana	Los residentes en las zonas rurales podrían ser más vulnerables dado que tienen ingresos menores y son dependientes de las actividades económicas que dependen de la extracción de recursos de su zona (ganadería, pesca, etc.). Mientras que las áreas urbanas, si son muy pobladas, dificultan la evacuación cuando existe peligro.	Rural (+) urbano (+)
Propiedad residencial	El valor, calidad y densidad de las construcciones residenciales afectan el potencial de pérdida y recuperación (e.g., los hogares más caros en la costa son los más caros de recuperar).	Casas móviles (+)

Tabla 1.1 (Continuación)

<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Incrementa (+) o disminuye (-) la vulnerabilidad</b>
Estructura familiar	Las familias con grandes cantidades de dependientes u hogares mantenidos por uno solo de los padres usualmente tienen pocos recursos económicos para tercerizar el cuidado de sus dependientes.	Altas tasas de natalidad (+) familias numerosas (+) Hogares de un solo padre (+)
Educación	La educación se relaciona con el estatus socioeconómico, con una educación más alta se logra mayores ingresos económicos en el futuro.	Poca educación (+) alta educación (-)

Fuente: adaptado y traducido de Cutter et al. (2003), Glave et al. (2008) y Kámiche y Pacheco (2010)

### **1.1.7. Desastres naturales históricos en el Perú**

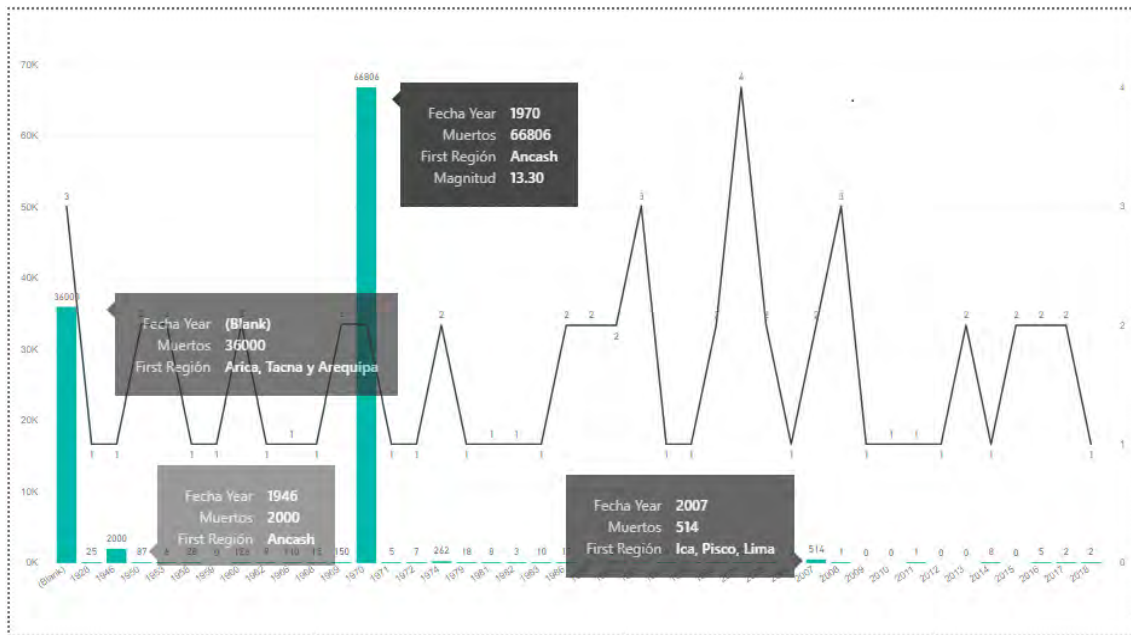
#### **Historia sísmica del Perú**

Por su localización respecto al CFP, el Perú se ha visto afectado por terremotos de gran magnitud con alto impacto económico y pérdidas humanas. Estos registros datan de la época colonial y los principales por su magnitud y pérdidas humanas son los acontecidos en 1687 (Lima, Callao e Ica, 8.2 Mw.); 1746 (El Callao, 8-8 Mw.); 1868 (Arica, Tacna y Arequipa, 8.5 Mw.); 1946 (Ancash, 7-3 Mw); 1970 (Ancash, 7.9 Mw), y 2007 (Ica, Pisco y Lima, 8.0 Mw), mostrados en la figura 1.2. donde se resaltan los más relevantes por el número de víctimas mortales.

### **1.2.Revisión de la literatura**

Para atender la problemática de posicionamiento de almacenes de distribución directa, Dessouky, et al. (2006) propone un modelo de despliegue de ubicación de instalaciones cuya finalidad es primero la determinación de la ubicación de centros de distribución que reciban los suministros médicos del almacén nacional norteamericano, y segundo el cómo calcular la ruta de los vehículos

Figura 1.2 Terremotos en Perú desde 1687



Fuente: traducido y adaptado de NGDC/WDS (2018): Significant Earthquake Database.

de distribución de esos suministros hacia las áreas de demanda. Las áreas que demandan suministros se categorizan según distintos atributos, tales como la densidad poblacional, la importancia económica, características geográficas y patrones climáticos. En consecuencia, cada centro de distribución será atendido con diferentes volúmenes de suministros y de forma simultánea.

En el caso de la distribución vehicular y ruteo, Knott (1987) discute formas en las que se puede desarrollar métodos logísticos sistemáticos para la distribución de ayuda humanitaria alimentaria cuyo objetivo es enviar la combinación correcta de comida a los grupos vulnerables en el momento de necesidad. En el modelo propuesto se definen campos que reciben insumos de un centro de distribución para atender un número determinado de unidades de comida en un período de 10 días con cierta cantidad de camiones disponibles.

Melkote y Daskin (2001), con la aplicación de programación entera mixta, formulan un problema de localización de infraestructura no capacitada; es decir, esta infraestructura es capaz de atender una cantidad ilimitada de demanda. Esta premisa, asumida inicialmente por Daskin et al. (1993) citado en Melkote y Daskin, se aplica en situaciones en las que la infraestructura, i.e., almacenes, operan muy por debajo de su capacidad, siendo esta última difícilmente saturada.

Berger et al. (2007) añaden restricciones de distancia al modelo de localización y ruteo que proponen. Este modelo sigue la misma línea de infraestructura no capacitada proponiendo incluso

variables a tomar en cuenta para bienes perecibles como los alimentos. Debido a la complejidad computacional que presenta la programación, utilizan el algoritmo Branch-and-Price. que generando un *subset* de variables, denominadas columnas. El *Column Generation* (columnas) resuelve instancias o partes del modelo debido a que este es extenso y complejo.

Balcik y Beamon (2008) desarrollan un modelo matemático para determinar la cantidad de centros de distribución necesarios y la cantidad de suministros que deben ser almacenados en cada uno de ellos tomando en cuenta la imprevisibilidad de la demanda en tiempo, ubicación y tamaño. En consecuencia, el modelo toma en cuenta un set de escenarios con probabilidades de ocurrencia propias que convierten al modelo en uno estocástico.

Vitoriano et al. (2010) proponen un modelo de optimización multicriterio para la distribución de la ayuda humanitaria y considera las variables costo, tiempo, equidad, prioridad, confiabilidad y seguridad. El modelo propuesto consiste en el diseño de rutas para vehículos adecuados entre diferentes nodos para distribuir una cantidad específica de bienes de ayuda humanitaria y tiene como objetivo manejar todos o un subgrupo de los atributos arriba mencionados (hasta alcanzar 8 como máximo). Los autores resuelven el caso con un modelo de programación por metas con la finalidad de satisfacer la mayor cantidad de atributos relevantes aplicados al terremoto 2010 ocurrido en Haití. Asimismo, enfocan las operaciones de ayuda humanitaria en Puerto Príncipe.

Martinez et al. (2012) muestran que existe una falta de evidencia robusta en la investigación de logística humanitaria y propone hacer uso de metodologías de la investigación de operaciones basadas en evidencia empírica, recopilación y análisis de datos reales. Además. los autores reflexionan sobre el impacto de las mejoras aplicadas a la gestión de flotas de vehículos de campo en el sector humanitario, siendo el ruteo vehicular unos de los desafíos operativos más sustanciales.

# CAPÍTULO 2. PROBLEMÁTICA Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

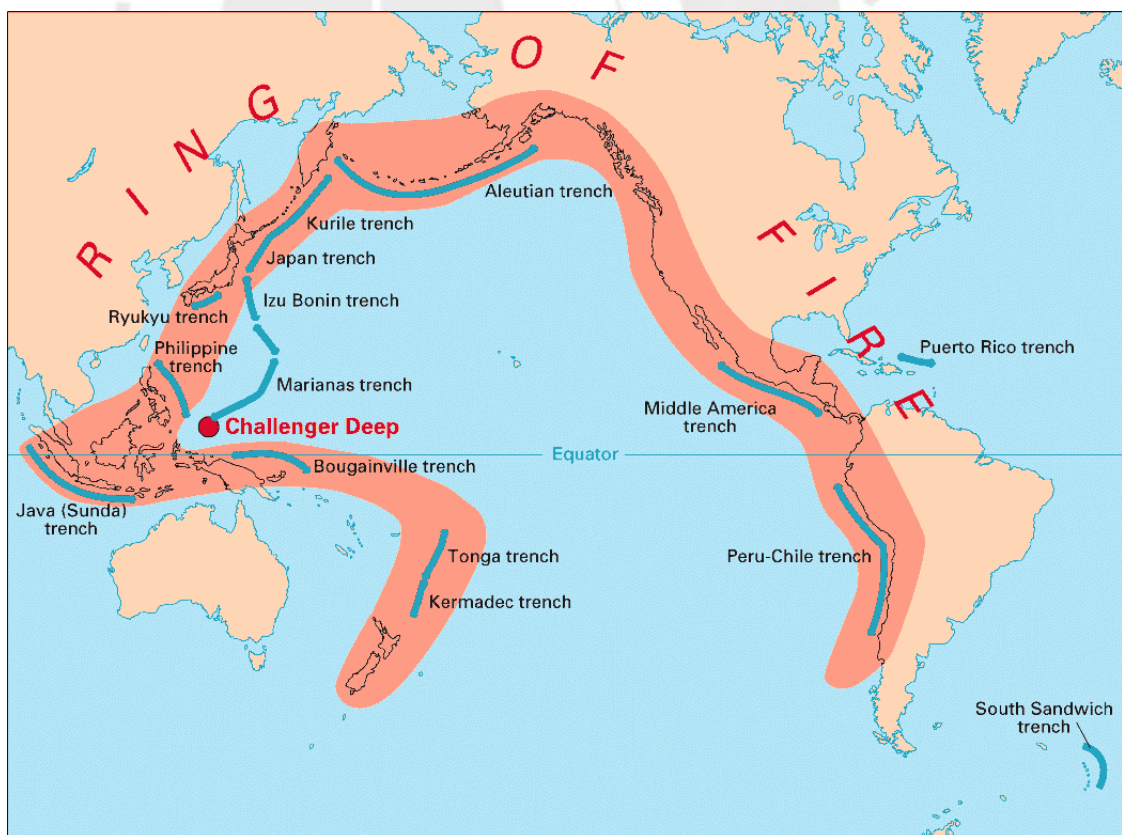
## 2.1.El Cinturón de Fuego del Pacífico

Es el cinturón sísmico más grande del mundo y se encuentra a lo largo del borde del Océano Pacífico, en donde se produce alrededor del 81 % de los terremotos de mayor magnitud e intensidad del mundo (United States Geological Survey Archives [USGS Archives], 2018).

El cinturón se despliega desde Chile, extendiéndose hacia el norte por la costa sudamericana, atravesando América Central, México, la costa occidental de Estados Unidos y el sur de Alaska. Continúa a través de las islas Aleutianas, llega hasta Japón, las Filipinas, Nueva Guinea, los archipiélagos del Pacífico Suroeste y finalmente Nueva Zelanda (vea la figura 2.1).

Este cinturón sísmico presenta un constante riesgo de desastre concretado, por ejemplo, con 65 muertes y un daño de mil millones de dólares en California en febrero de 1971 (USGS Archives, 2018) y el de 70 000 muertes en el departamento de Áncash en Perú el 31 de mayo de 1970 (USGS Archives, 2018), evento recordado como “El Gran Terremoto Peruano”.

Figura 2.1 Arcos volcánicos y fosas oceánicas en la cuenca del Pacífico forman el CFP



Fuente: tomado de USGS Archives (2018)

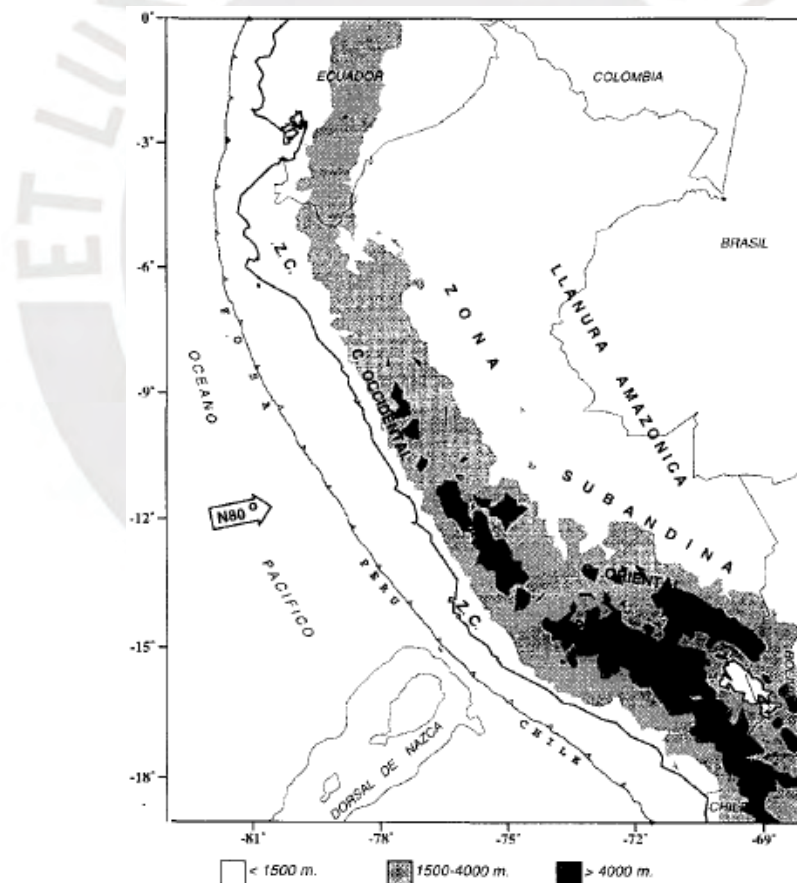
## 2.2. Ubicación del Perú respecto al Cinturón de Fuego

El Perú es un país con gran relevancia como objeto de estudio sísmico debido a su alta actividad tectónica. Esta actividad deriva principalmente del proceso de subducción de la placa oceánica o Placa de Nazca bajo la placa Sudamericana o Continental (Tavera y Bufo, 1998).

### 2.2.1. Características tectónicas del Perú

El occidente de América del Sur se destaca por ser una de las áreas con mayor actividad sísmica a nivel global. El Perú está ubicado en esta área, donde los terremotos más fuertes suelen originarse debido a la dinámica de la placa oceánica bajo la placa continental, lo que genera sismos de gran intensidad con cierta frecuencia (Tavera y Bernal, 2005). Un segundo tipo de actividad sísmica se genera por las deformaciones en la corteza terrestre a lo largo de la Cordillera de los Andes, como se ilustra en la figura 2.2, con sismos de menor magnitud y frecuencia.

Figura 2.2 Unidades estructurales (UE) de Perú



Nota: según Audebaud et al., (1973)<sup>1</sup> y Dalmayrac et al. (1987) citados en Tavera y Bernal (2005, p. 189). Z.C. = Zona costera. La flecha indica la dirección de convergencia de las placas según

<sup>1</sup> Anexo 1: Unidades estructurales del Perú. Sísmicidad y Sismotectónica del Perú

Minster y Jordan (1978). La topografía se identifica con el color de fondo: blanco menos de 1500 m, gris claro entre 1500-4000 m. y gris oscuro mayor a 4000 m.

Fuente: tomado de Tavera y Bernal (2005, p. 189)

A continuación, se explica la franja costera por ser la más relevante para esta tesis ya que en esta área se ubica la zona costera de Lima.

### **La franja costera**

Se trata de una franja angosta, de aproximadamente 40 km de ancho que se extiende de norte a sur. Su formación está dominada por pliegues volcánicos suaves y rocas sedimentarias de la era Mesozoica. En el sector sur, la región está constituida por cimientos de rocas cristalinas fuertemente plegadas y que han experimentado procesos de deformación desde el Precámbrico (Tavera y Buform, 1998, p. 190).

## **2.3. Ausencia sísmica en el Perú**

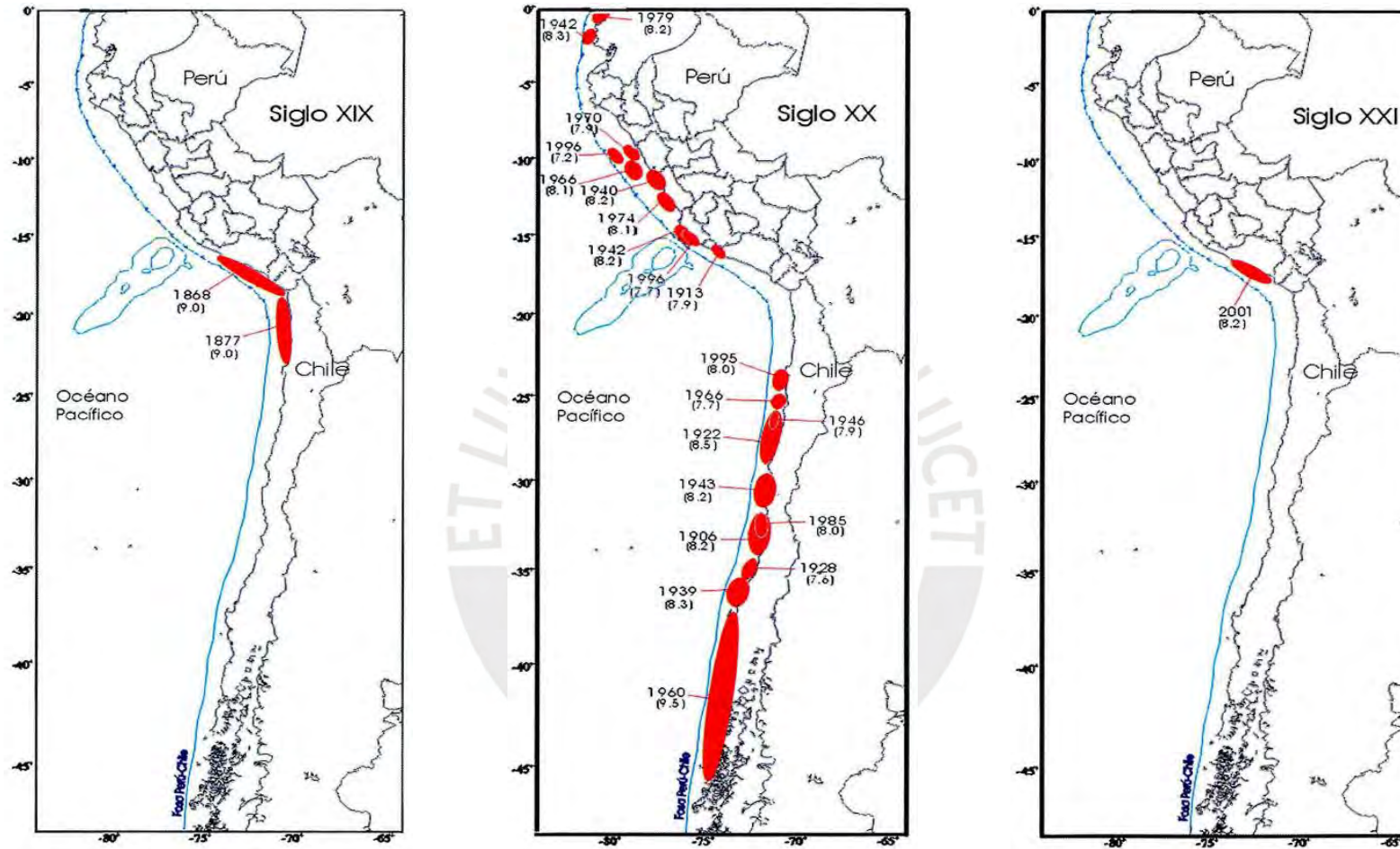
### **2.3.1. Lagunas sísmicas**

Sobre el concepto de lagunas sísmicas, el IGP (2017) refiere que en el Perú hay zonas que, en décadas o siglos pasados, han sido afectadas por grandes terremotos y que hasta el momento no han vuelto a registrar eventos similares, situación temporal que incrementa la probabilidad de que ocurran nuevamente (p. 6).

Al respecto, Tavera y Bernal (2005) recopilaron estudios propuestos por Kelleher (1972), Kelleher y McCann (1976), Nishenko (1985), Kagan y Jacson (1991) respecto de las áreas de fractura asociadas a la ocurrencia de grandes sismos en la región occidental del Perú y Chile, obteniendo los resultados para terremotos acontecidos entre los siglos XIX al XXI y que se muestran en la figura 2.3. Además, Tavera y Bernal (2005) afirman que la costa Sudamericana se ve afectada por terremotos con mayor frecuencia durante el siglo XX, en particular en Perú ocurrieron ocho fenómenos importantes en ese siglo. Sin embargo, la historia sísmica del Perú está registrada desde el año 1500, cuyas ocurrencias más relevantes se muestran en la figura 2.4. Así, en el periodo 1701 a 1850 (vea la figura 2.5), ocurrieron dos de los más grandes sismos conocidos en el Perú y ambos provocaron tsunamis cuyas olas llegaron a alcanzar los 17 metros de altura (Tavera y Bernal, 2005, p. 96).

Con referencia a la costa peruana y las lagunas sísmicas, Tavera y Bernal (2005) afirman que durante 194 años, en la región Central no ocurrió ningún sismo importante desde el terremoto ocurrido en Lima en 1746 (vea la figura 2.6). Por ello, los estudios desarrollados en materia de prevención y ayuda humanitaria toman especial importancia.

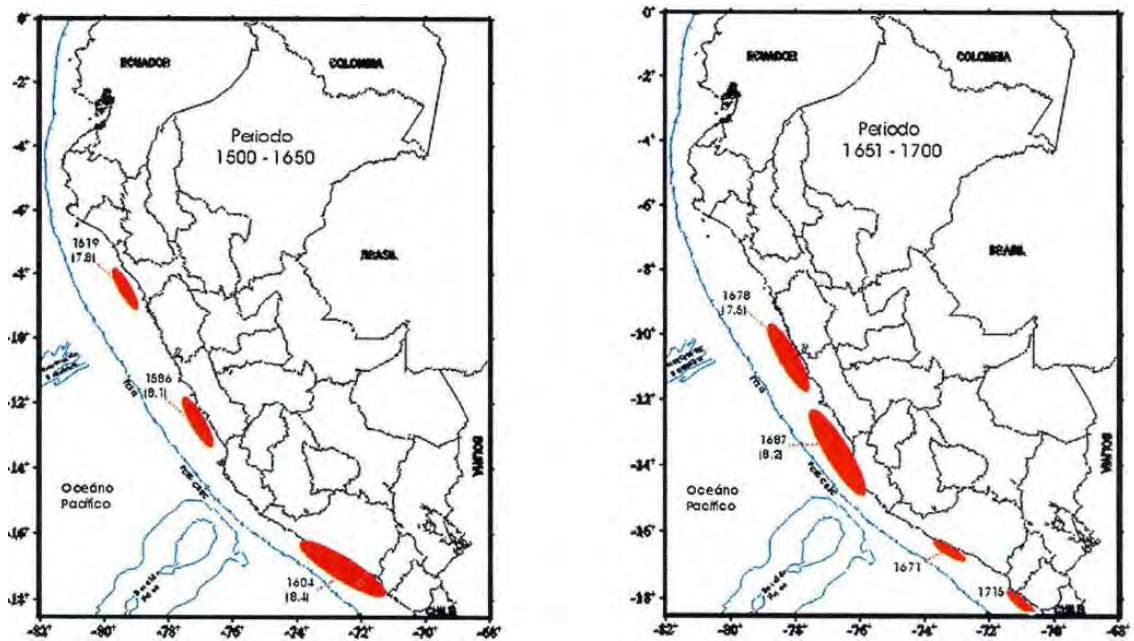
Figura 2.3 Borde occidental de Perú y Chile, y distribución de áreas de ruptura y lagunas sísmicas durante los siglos XIX, XX y XXI



**Nota:** La magnitud de los sismos está expresada en la escala de magnitud momento (Mw)

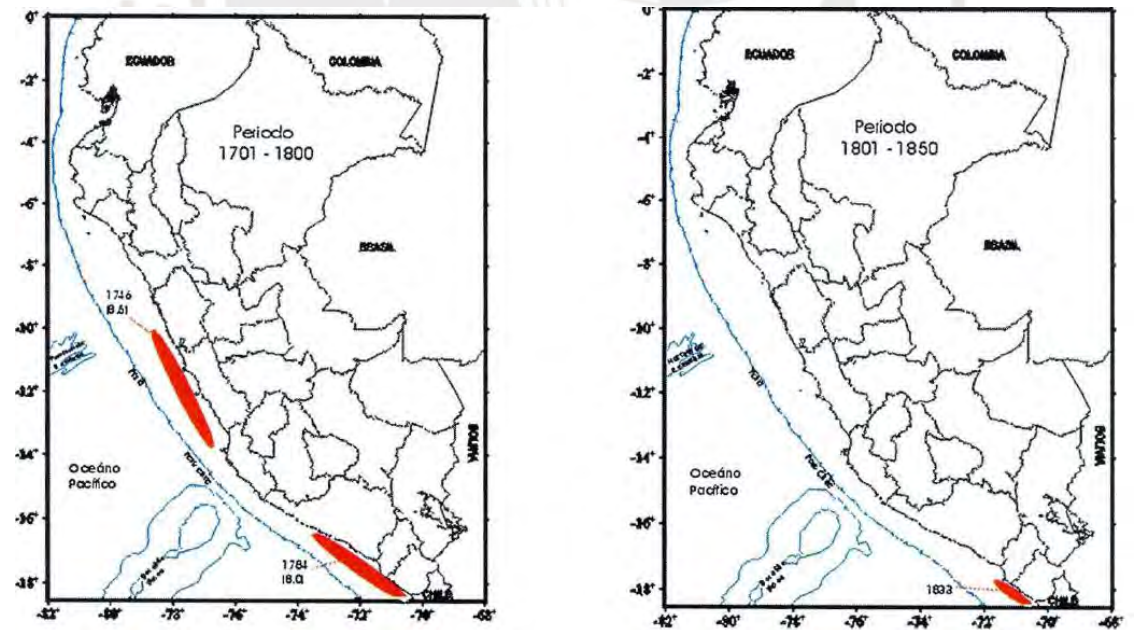
Fuente: tomado de Tavera y Bernal (2005, p. 6).

Figura 2.4 Distribución espacial de las zonas de fractura relacionadas a los sismos de mayor magnitud e intensidad ocurridos en la franja occidental de Perú entre los años 1500 al 1700



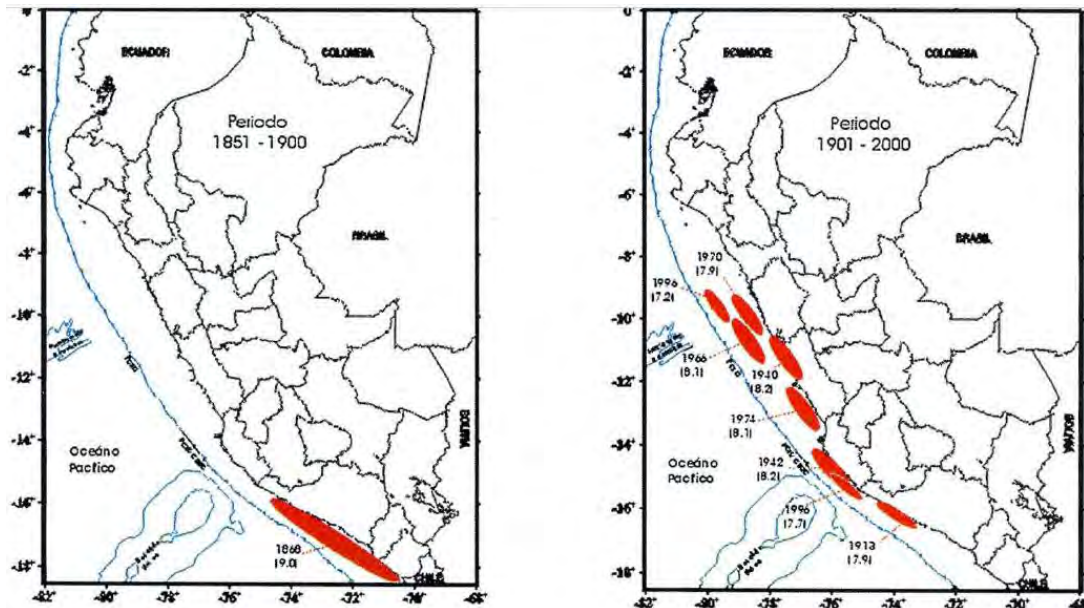
Fuente: tomado de Tavera y Bernal (2005, p. 96).

Figura 2.5 Distribución espacial de las zonas de fractura relacionadas a los sismos de mayor magnitud e intensidad ocurridos en la franja occidental de Perú entre los años 1701 al 1850



Fuente: tomado de Tavera y Bernal (2005, p. 96).

Figura 2.6 Distribución espacial de las zonas de fractura relacionadas a los sismos de mayor magnitud e intensidad ocurridos en la franja occidental de Perú entre los años 1851 al 2000



Fuente: tomado de Tavera y Bernal (2005, p. 96).

## 2.4. Exposición de la población costera del borde oeste del Perú

Para determinar el riesgo de desastre es necesario contar con una población expuesta al evento natural. A continuación, se muestra la evolución de la población nacional.

En la tabla 2.1 se observa el crecimiento poblacional en Perú hasta el Censo Nacional de Población y Vivienda de 1981, punto de inflexión, ya que hacia 2017 la TCA mantiene tendencia decreciente en cuanto a incremento anual intercensal, en ese año la población fue 31 237 385 de habitantes en el territorio nacional.

## 2.5. Vulnerabilidad de la población costera del borde oeste del Perú

### 2.5.1. Vulnerabilidad geofísica

No es suficiente que una población se encuentre expuesta a un evento natural, hace falta analizar las condiciones de vulnerabilidad de la población en estudio. Algunas de estas condiciones son la ubicación geográfica, la densidad demográfica y la información geológica de Lima.

- **Ubicación y extensión de Lima**

La ciudad de Lima es la capital del Perú ubicada en la costa central del país frente al Océano Pacífico. LM está dividida en 43 distritos en un territorio de 2672.28 km<sup>2</sup>, sin incluir la Provincia Constitucional del Callao (MML, 2015).

Geográficamente, la ciudad de Lima está ubicada a una altitud que varía desde 0 a 850 m.s.n.m. (INEI, 2014) y al norte colinda con la provincia de Huaral; al sur, con la provincia de Cañete; al este, con las provincias de Canta y Huarochirí; y al oeste, con la provincia constitucional de El Callao y el Océano Pacífico. La población de Lima refleja una tendencia de crecimiento positiva desde que se inició con el registro censal en 1940. (vea la tabla 2.1).

Tabla 2.1 Perú: PT y TCA, 1940 - 2017

Año	Total	Incremento intercensal	Incremento anual	Tasa de crecimiento anual (%)
1940	7 023 111			
1961	10 420 357	3 397 246	161 774	1.9
1972	14 121 564	3 701 207	336 473	2.8
1981	17 762 231	3 640 667	404 519	2.6
1993	22 639 443	4 877 212	406 434	2.0
2007	28 220 764	5 581 321	398 666	1.6
2017	31 237 385	3 016 621	301 662	1.0

Fuente: INEI (2018)

### • Caracterización física de Lima Metropolitana

Según el PPRRD (MML, 2015), se diferencian las siguientes cuencas hidrográficas.

- Cuenca baja del río Chillón

Situada en el norte de Lima, con microcuencas de relieve accidentado y empinado que actualmente están siendo urbanizadas. En las áreas bajas de planicies se desarrollan actividades urbanas, agrícolas e industriales. Existen riesgos derivados de deslizamientos, inundaciones y contaminación. (vea la figura 2.7).

- Cuenca baja y media del río Rímac

Zona con las microcuencas principales de San Juan de Lurigancho, Huaycoloro, Huaycán y La Molina (urbanizaciones en laderas), un valle bien definido donde se asientan las principales actividades urbanas; además, muestra condiciones de peligros por inundaciones, huaycos, deslizamientos y procesos de contaminación (vea la figura 2.7).

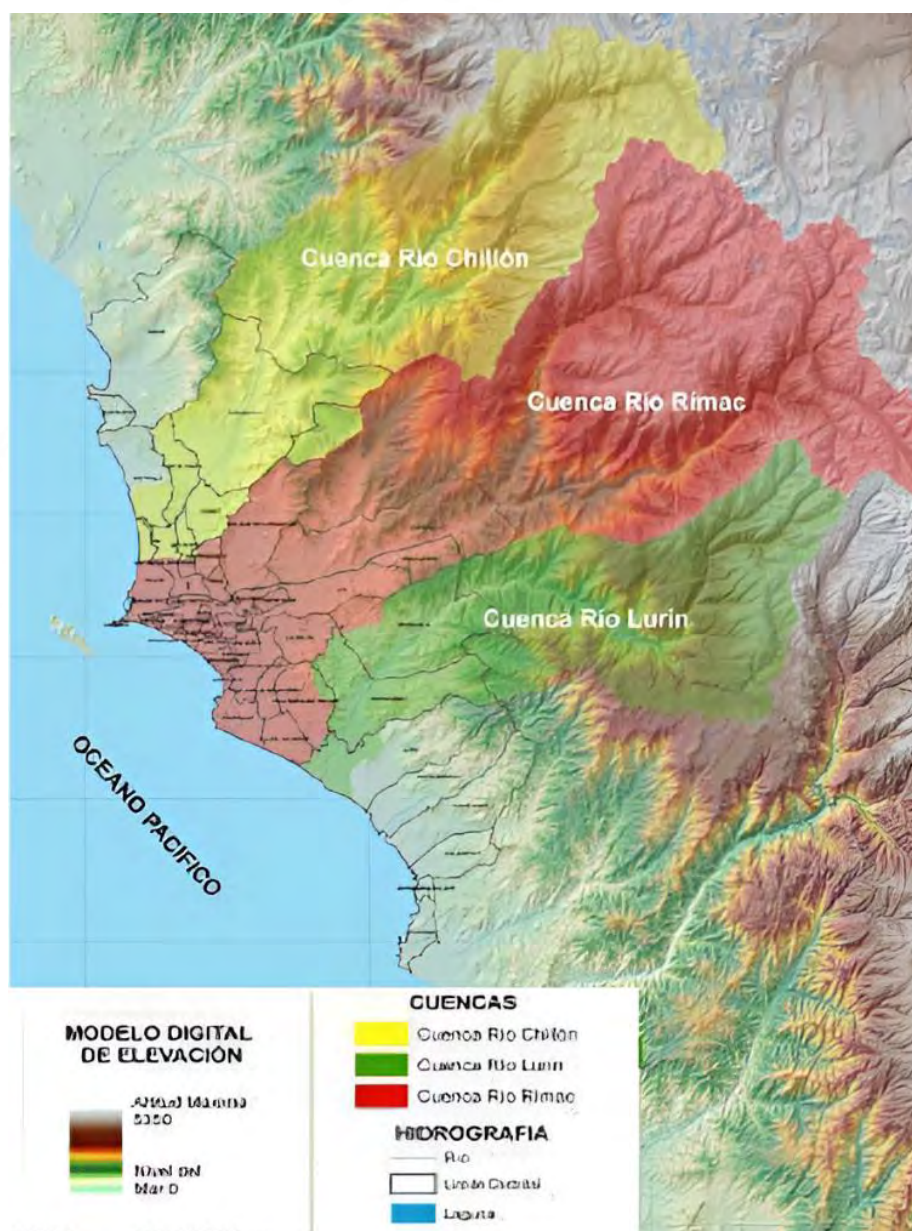
- Cuenca del río Lurín

Con fenómenos de erosión e inundaciones, además de actividades agrícolas y urbanas. Es la cuenca con la menor población de Lima (vea la figura 2.7).

- Zona del litoral

La región presenta una topografía diversa. En las zonas norte y sur la pendiente es suave y en estas áreas se encuentran asentamientos urbanos permanentes que podrían verse afectados por inundaciones causadas por un tsunami. En el centro, se encuentra un acantilado (Costa Verde) generando una plataforma que protege a las actividades urbanas permanentes de un posible tsunami. (vea la figura 2.7).

Figura 2.7 Cuencas hidrográficas en Lima



Fuente: tomado de MML. (2015)

Es así que el suelo de Lima posee características diferenciadas por la dinámica de las cuencas y sus accidentes geográficos respecto al mar. Por esta razón, la gestión de los riesgos de desastres en Lima debe integrar el análisis de estos factores y los impactos directos sobre las áreas costeras. Esto es fundamental para desarrollar medidas de prevención que protejan a las poblaciones vulnerables, especialmente en caso de un evento natural.

- **Distribución de suelos de Lima Metropolitana**

El IGP (2010) muestra los resultados de la información sísmica, geológica, geomorfológica, geotécnica y la densidad poblacional en cada uno de los distritos de LM recopiladas con la finalidad de analizar la distribución de suelos de Lima. Esta información fue elaborada por el CISMID.

La caracterización del tipo de suelo LM se realiza según las propiedades mecánicas y dinámicas detalladas en el CDSRNC (Norma E-030, 2003) (vea el anexo 2) y las premisas de estudios realizados por el CISMID. El IGP (2010) los describe como se muestra en la tabla 2.2. y el Ministerio del Ambiente (2012) zonifica según los tipos de suelo de Lima que agrupan características geológicas similares, como se muestra en la figura 2.8.

Tabla 2.2 Parámetros de suelo según la Norma E-030

Tipo	Descripción	Tp (s)	S
S1	Roca o suelos muy rígidos	0.4	1.0
S2	Suelos intermedios	0.6	1.2
S3	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0.9	1.4
S4	Condiciones excepcionales	*	*

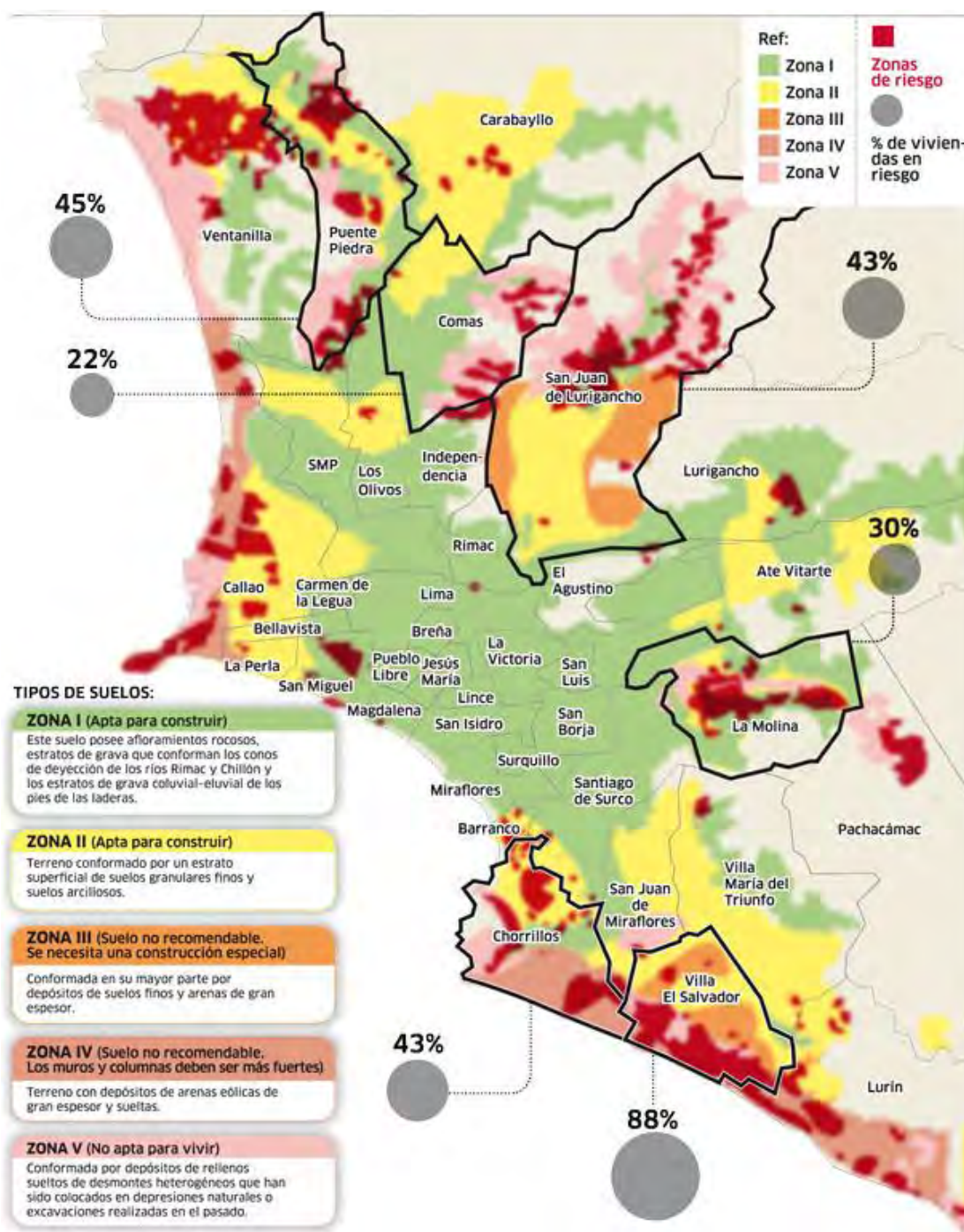
Fuente: IGP (2010)

**Nota:** los valores Tp (en segundos) y S para este caso son establecidos por el especialista.<sup>2</sup>

Con base en la investigación desarrollada por el Ministerio del Ambiente (vea la figura 2.8), encontramos que las poblaciones de los distritos catalogados dentro de las zonas III, IV y V son vulnerables debido a las condiciones físico-geológicas del suelo donde se encuentra construida la infraestructura destinada a vivienda y actividades económicas.

<sup>2</sup> Anexo 2: C = Factor de amplificación sísmica, S = Factor de amplificación del suelo, Tp=Período que define la plataforma del factor C

Figura 2.8 Mapa de zonificación de tipos de suelos para LM



Fuente: Ministerio del Ambiente (2012)

Nota: en el mapa están excluidos los Distritos de Pucusana, Santa María, San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Santa Rosa y El Agustino.

A su vez, los distritos catalogados dentro de las zonas III, IV y V también se encuentran dentro de los 20 más poblados, como muestra la tabla 2.3, resaltando San Juan de Lurigancho y Comas

quienes concentran más de 1.5 millones de habitantes al 2017 residiendo dentro de zonas de riesgo.

Tabla 2.3 Perú: Población censada y tasa de crecimiento promedio de los 20 distritos más poblados de Lima en los años 1993, 2007 y 2017

Distrito	Población			Tasa de crecimiento promedio anual (%)	
	1993	2007	2017	1993-2007	2007-2017
<b>San Juan de Lurigancho</b>	<b>582 975</b>	<b>898 443</b>	<b>1 038 495</b>	<b>3.1</b>	<b>1.5</b>
San Martín de Porres	380 384	579 561	654 083	3.0	1.2
Ate	266 398	478 278	599 196	4.2	2.3
Comas	404 352	486 977	520 450	1.3	0.7
Callao	369 768	415 888	451 260	0.8	0.8
Villa María del Triunfo	263 554	378 470	398 433	2.6	0.5
Villa El Salvador	254 641	381 790	393 254	2.9	0.3
San Juan de Miraflores	283 349	362 643	355 219	1.7	-0.2
Cara baylo	106 543	213 386	333 045	5.0	4.6
Puente Piedra	102 808	233 602	329 675	5.9	3.5
Santiago de Surco	200 732	289 597	329 152	2.6	1.3
Los Olivos	228 143	318 140	325 884	2.4	0.2
Ventanilla	247 028	277 895	315 600	7.8	1.3
Chorrillos	217 000	286 977	314 241	2.0	0.9
Lima	340 422	299 493	268 352	-0.9	-1.1
Lungancho	100 240	169 359	240 814	3.7	3.6
Independencia	183 927	207 647	211 360	0.9	0.2
El Agustino	154 028	180 262	198 862	1.1	1.0
Santa Anita	118 659	184 614	196 214	3.1	0.6
Rímac	189 736	176 169	174 785	-0.5	-0.1

Fuente: INEI (2018)

En síntesis, la ciudad de Lima presenta una vulnerabilidad geofísica significativa en caso de un evento natural, debido a su ubicación sísmica, la dinámica de las cuencas dentro de su territorio, las condiciones del suelo y su alta densidad poblacional.

### **2.5.2. Vulnerabilidad física**

El estudio de PREDES (2009) con un sistema de identificación de sectores homogéneos según el tipo de edificación y considerando como parámetros el material de construcción, tipología constructiva de la vivienda, el estado de conservación y la altura de la edificación; concluye que colapsarían 200 347 viviendas y otras 348 329 serían afectadas en caso de un escenario de sismo en Lima.

Según la MML (2015) los distritos densamente poblados y de rápido crecimiento como San Juan de Lurigancho, Comas y Puente Piedra, no siguen normas sismorresistentes adecuadas en la construcción de infraestructura y añadiendo que presentan tipos de suelo en Zona III, IV, y V (vea la figura 2.8); se concluye que la vulnerabilidad física en cuanto a infraestructura en Lima y sus distritos es elevada.

### **2.5.3. Vulnerabilidad socioeconómica**

La vulnerabilidad socioeconómica en Lima está marcada por una combinación de desigualdad social, falta de acceso a servicios básicos y pobreza (INEI, 2017). Al respecto, Uribe (2020) concluye que a pesar de las mejoras en las condiciones económicas de los pobladores de Lima no es suficiente para justificar que la vulnerabilidad socioeconómica haya disminuido, considerando que solo en Lima el nivel de ingresos por habitante se redujo en 1 % entre los años 2022 y 2023 (INEI, 2024) y que el 14.5 % de la población de Lima y El Callao; es decir, 1 370 334 personas no llegan a cubrir los costos de la canasta básica familiar mensual.

En conclusión, la vulnerabilidad de la ciudad de Lima ante eventos naturales deriva de su ubicación geofísica en una zona sísmica activa, la fragilidad física de su infraestructura urbana y la desigualdad socioeconómica de su población. Se hace evidente que es necesaria una planificación urbana que considere la dinámica de las cuencas, la mejora en la infraestructura según la zonificación por tipo de suelo y el fortalecimiento de la protección social. Es por ello que estos factores requieren de una planificación rigurosa en términos de prevención, mitigación y respuesta ante emergencias.

## **2.6. Asistencia alimentaria en emergencias en el Perú**

El Decreto Supremo N° 048-2011-PCM (2011), Reglamento de la Ley N° 29664, que crea el SNGRD establece directrices para AAD de alimentos destinados a la atención de emergencias o desastres, cuyo ámbito de aplicación es de cumplimiento obligatorio para el INDECI, GR y GL según sus competencias respectivas. Estas instituciones son principalmente responsables de programar la atención alimentaria, adquirir los alimentos de acuerdo a los requerimientos

nutricionales, según los lineamientos de INDECI (2017) y finalmente distribuir a la población afectada.

## 2.7. Programación de la atención alimentaria

**Prever** la asignación de fondos para la AAD de alimentos, considerando que estos son bienes esenciales para cubrir necesidades básicas en situaciones de emergencia o desastre. Esto debe considerar los recursos asignados en el programa presupuestal 0068, denominado RVAED (INDECI, 2017).

**Programar** anualmente la cantidad de alimentos necesarios, basándose en los registros y estadísticas de eventos pasados, así como en el inventario de bienes de ayuda humanitaria disponibles y el presupuesto destinado para la atención de emergencias o desastres, dentro del marco del PLABAH (INDECI, 2017).

**Garantizar** que los bienes de ayuda alimentaria estén disponibles para proporcionar una atención rápida y adecuada a los damnificados o afectados (INDECI, 2017).

## 2.8. Adquisición de los alimentos

La adquisición de alimentos puede llevarse a cabo en dos fases del proceso de Gestión de Riesgo de Desastres: la preparación y la respuesta, siguiendo los procedimientos que se muestran en la figura 2.9.

Figura 2.9 Pasos a seguir para la adquisición de alimentos



Fuente: tomado de INDECI (2015)

INDECI adquiere, almacena y distribuye alimentos a los gobiernos regionales para atender las emergencias que sobrepasen su capacidad de respuesta. Para tal fin, se debe tener como marco normativo la Declaratoria de Estado de Emergencia. Los alimentos se envían a los AN bajo la

responsabilidad de las DD de INDECI de acuerdo a los requerimientos realizadas por los GR. Además, si es el caso, se transportan alimentos a los CALA cuando los almacenes no cuentan con suficiente inventario para atender la emergencia.

Dentro de su ámbito de competencia, los gobiernos regionales adquieren y almacenan los bienes de ayuda humanitaria (e.g. alimentos) proporcionados por INDECI para atender las emergencias o desastres.

Los GL reciben y almacenan los alimentos necesarios para atender emergencias o desastres, dentro de su ámbito de responsabilidad y con el fin de asistir a las personas afectadas o damnificadas. Además, se encargan de verificar la documentación que respalda la calidad y cantidad de los productos entregados.

Para fines de esta tesis, se omite los alimentos ingresados en condición de donación nacional o internacional por la ausencia del factor planificación que presentan.

## 2.9. Aporte nutricional de la ración distribuida

De acuerdo con la CH y normas mínimas para la respuesta humanitaria del Proyecto Esfera, cada ración alimentaria debe proporcionar al menos 2100 calorías por persona al día. Se proponen dos tipos de raciones: una lista para consumir, que consiste en productos ya elaborados y envasados (raciones frías) detallada en la tabla 2.4, y otra que requiere preparación (raciones crudas) (INDECI, 2017).

### Ración fría

Tabla 2.4 Valor nutricional diario de la ración alimentaria per cápita

Nº	Grupo de alimento	Peso neto (g)	Energía (kcal)	Proteínas (g)	Grasa (g)	Carbohidratos (g)
1	Cereales	300	1056	28	5	223
2	Menestras	150	515	33	3	93
3	Azúcares	40	152	0	0	39
4	Grasas	36	318	0	36	0
5	Producto de origen animal (conserva) escurrido	50	82	11	4	0
<b>Total</b>		<b>576</b>	<b>2123</b>	<b>72</b>	<b>48</b>	<b>355</b>

Fuente: tomado de INDECI (2015)

La ración logística que se muestra en la tabla 2.5 es lo que se considera como kit de entrega final al afectado.

Tabla 2.5 Ración logística diaria de alimentos per cápita

Nº	Descripción del producto	Cantidad por ración (kg)
1	Cereales	0.300
2	Menestras	0.150
3	Azúcares	0.040
4	Grasas	0.040
5	Producto de origen animal (conserva) escurrid	0.060
<b>Total</b>		<b>0.590</b>

Fuente: tomado de INDECI (2015)

### Ración cruda

Para la selección de productos de la ración cruda, se debe considerar que son productos no perecibles y que siguen los siguientes lineamientos de INDECI (2017).

- **Inocuidad del producto:** el alimento suministrado no debe causar daños adicionales al individuo, considerando los perjuicios ya ocasionados por la emergencia.
- **Valor nutritivo:** aunque todos los alimentos aportan nutrientes, es preferible priorizar aquellos que ofrezcan una mayor concentración de energía y proteínas.
- **Aceptación cultural:** seleccionar los alimentos que se alineen con las costumbres y preferencias locales.
- **Disponibilidad local:** los alimentos no tienen que ser producidos localmente, pero deben estar disponibles en el mercado más cercano y ser de compra inmediata.
- **Fácil de transportar, almacenar, distribuir y consumir:** debe ser un producto que simplifique la logística y el consumo, considerando que la facilidad de preparación es una variable a considerar para seleccionar el alimento.
- **Precio-costeo:** seleccionar productos económicos que cumplan con los mismos requisitos y estándares mencionados previamente.

## 2.10. Cálculo y costeo de la cantidad total de alimentos

Para obtener la cantidad total necesaria de alimentos a adquirir para la ayuda alimentaria, se aplica la fórmula mostrada en la figura 2.10, teniendo en cuenta que cada una de las variables de entrada es un dato conocido y Q es la cantidad que se espera hallar.

Figura 2.10 Cálculo de la cantidad total de alimentos

---

$$Q = (D+A)*d*R$$

Donde:

Q = Cantidad mínima de alimentos a adquirir (kg).

D = Número de damnificados (promedio histórico de los últimos cinco años).

A = Afectados (promedio histórico de los últimos cinco años).

d = Días de atención.

R = Ración logística de alimentos (ración (kg)/persona)

---

Fuente: tomado de INDECI (2015)

Tener en cuenta que en los LAADAAED se contempla un periodo de hasta tres días de provisión para las raciones frías y para las raciones crudas hasta diez días de atención en este cálculo. Estos tres días son cruciales según la Resolución Ministerial 027-2016 PCM para garantizar la supervivencia de las personas afectadas, debido a que las raciones frías proporcionan alimento accesible, seguro y nutricionalmente adecuado en un período en el que las condiciones son desafiantes tanto para los afectados como para los equipos de respuesta.



## **CAPÍTULO 3. ALGUNOS ANTECEDENTES**

En este capítulo se presentan estudios previos referentes a la distribución de bienes de ayuda humanitaria, los desafíos que esta actividad representa y se recoge el aprendizaje de sus resultados para esta tesis.

Dessouky et al. (2006) tratan la rápida distribución de medicamentos básicos requeridos para enfrentar un brote de ántrax en un suburbio norteamericano. Se contemplan problemas importantes en el diseño de un suministro farmacéutico eficiente. Dessouky et al. brindan propuestas de solución eficientes para dos problemas concretos. El primero, decidir dónde colocar los almacenes de distribución. El segundo, cuál es la ruta óptima para los vehículos de reparto. Los autores recomiendan que ambos problemas deben ser resueltos en coordinación para desplegar rápidamente suministros médicos en respuesta a una emergencia de gran escala.

También Vargas et al. (2014) reconocen la brecha entre los modelos analíticos de manejo de desastres actuales y su aplicación real, lo que refuerza la necesidad de una solución cuantitativa. En este contexto, proponen una metodología de cinco pasos para el diseño de escenarios de terremotos. Esta metodología es aplicada para calcular la probabilidad de ocurrencia de terremotos, generando escenarios con diferentes magnitudes para las diferentes regiones del Perú, con el fin de posteriormente estudiar el impacto en la capacidad de almacenes y la logística de transporte de bienes de ayuda humanitaria. La propuesta de Vargas et al. se basa en escenarios con probabilidades de ocurrencia, por lo tanto, su naturaleza es estocástica, mientras que esta tesis adoptará un enfoque con parámetros determinísticos.

Por otro lado, Serpa (2014) propone la optimización y localización de centros de distribución para hacer frente a un terremoto de gran magnitud en LM y El Callao. Serpa (2014) define la cantidad y ubicación de los almacenes con base en el escenario más crítico posible, estimando la cantidad de población afectada como producto de la cantidad de residencias afectadas y el número promedio de residentes por vivienda. Asegura la ubicación de los centros de distribución dentro de distritos con bajo riesgo sísmico y toma determinísticamente las distancias más largas interdistritos con la finalidad de reflejar circunstancias adversas en las vías de distribución, dadas las condiciones de un evento sísmico crítico.

Los resultados y recomendaciones de Serpa (2014) son tomados como entrada debido a que está alineado a la solución del primer problema planteado por Dessouky et al. (2006) que es precisamente dónde colocar los almacenes de distribución que funcionarán como clientes del Almacén Nacional General de INDECI.

# CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL MODELO

## 4.1. Descripción del problema

En el Perú, el INDECI, tiene como funciones generales el coordinar y liderar las acciones necesarias para garantizar la seguridad de la población en situaciones de emergencia y ofrecer atención de emergencia, brindando apoyo inmediato a las personas afectadas por desastres (INDECI, 2003). En la Resolución Ministerial 027-2016 PCM, se aprueba los LAADAAED. Sin embargo, estos lineamientos carecen de un enfoque científico para la distribución de bienes de ayuda humanitaria alimentaria y este estudio busca reforzar las labores de distribución con un enfoque científico y cuantitativo que brinde soporte a sus procedimientos de reparto de la ayuda en los casos de desastre.

Esta tesis contribuye con una propuesta de distribución óptima de bienes alimentarios desde los almacenes de INDECI a los centros de distribución en caso de emergencia por causa de un terremoto de 8.0 Mw en Lima. El problema central es determinar la ruta de distribución que los vehículos deben seguir para atender las demandas de cada almacén, con sus cantidades de bienes de ayuda humanitaria y los costos que incurrir.

La rápida distribución de suministros comestibles debe estar alineada a La Norma de Gestión o **Plan de 72 Horas** que contempla la provisión de los bienes de ayuda humanitaria para ser entregados de forma gratuita durante las primeras 72 horas (tres días) de ocurrido un desastre, crucial para asegurar la supervivencia de la población damnificada. (Asociación Esfera, 2018 p. 165).

Con base en las investigaciones aplicadas en Logística Humanitaria y reseñadas en la revisión de la literatura y para esta tesis, se formula un modelo de programación lineal entera programado en lenguaje Python 3.7. y se resuelve con el paquete de *solvers* CPLEX de IBM.

## 4.2. Desarrollo de variables necesarias para el modelo

Para el desarrollo del modelo propuesto es necesario estimar sus parámetros: coeficientes en la función objetivo, lados derechos de las restricciones y coeficientes en las restricciones. La metodología para estimar sus valores se explica en esta sección.

### 4.2.1. Almacenes de Defensa Civil a nivel nacional

El INDECI dispone de almacenes con diferentes funciones a nivel nacional y su abastecimiento está delineado en el marco normativo de la Declaratoria de Estado de Emergencia. El proceso comienza con el suministro de alimentos a los almacenes nacionales gestionados por las Direcciones Desconcentradas de INDECI, según los requerimientos de los gobiernos regionales.

En caso de ser necesario, los bienes de ayuda humanitaria se trasladan a los CALA cuando los inventarios de los almacenes no son suficientes para hacer frente a la emergencia. También, los gobiernos regionales adquieren y almacenan los bienes de ayuda humanitaria provenientes de INDECI para atender a emergencias o desastres dentro marco de responsabilidad (INDECI, 2017).

Los almacenes mencionados se distribuyen como se muestra en la tabla 4.1, 4.2 y 4.3.

Tabla 4.1 Almacenes nacionales

Número	Región	Ciudad
1	Lima	Callao - Lima
2	Amazonas	Bagua chica
3	Arequipa	Arequipa
4	Cusco	Cusco
5	Ica	Ica
6	Junín	Huancayo
7	La Libertad	Trujillo
8	Loreto	Iquitos
9	Piura	Piura
10	Puno	Juliaca
11	San Martín	Tarapoto - Moyobamba
12	Tacna	Tacna

Fuente: tomado de INDECI (2013)

Tabla 4.2 Almacenes regionales

Número	Región	Ciudad
1	Amazonas	Chachapoyas
2	Ancash	Huaraz
3	Apurímac	Abancay
4	Arequipa	Arequipa
5	Ayacucho	Ayacucho
6	Cajamarca	Cajamarca
7	Callao	Callao
8	Cusco	Cusco
9	Huancavelica	Huancavelica
10	Huánuco	Huánuco
11	Junín	Huancayo
12	La Libertad	Trujillo

Tabla 4.2 (Continuación)

Número	Región	Ciudad
13	Lambayeque	Chiclayo
14	Lima	Huacho
15	Loreto	Quitos
16	Madre de Dios	Puerto Maldonado
17	Moquegua	Moquegua
18	Pura	Piura
19	Puno	Puno
20	San Martín	Moyobamba
21	Tacna	Tacna
22	Tumbes	Tumbes
23	Ucayali	Pucallpa

Fuente: tomado de INDECI (2013)

Tabla 4.3 Cantidad de almacenes según el tipo

Región	Total	Cantidad de almacenes		
		Almacenes nacionales	Almacenes regionales	Almacenes adelantados
<b>Total</b>	<b>176</b>	<b>12</b>	<b>25</b>	<b>139</b>
Amazonas	8	1	1	6
Áncash	5		1	4
Apurímac	6		1	5
Arequipa	9	1	1	7
Ayacucho	4		1	3
Cajamarca	10		1	9
Callao	1		1	0
Cusco	7	1	1	5
Huancavelica	5		1	4
Huánuco	9		1	8
Ica	5	1	1	3
Junín	5	1	1	3
La Libertad	8	1	1	6
Lambayeque	7		1	6
<b>Lima</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>
Loreto	12	1	1	10
Madre de Dios	4		1	3
Moquegua	6		1	5
Pasco	4		1	3
Piura	18	1	1	16
Puno	12	1	1	10
San Martín	4	1	1	2

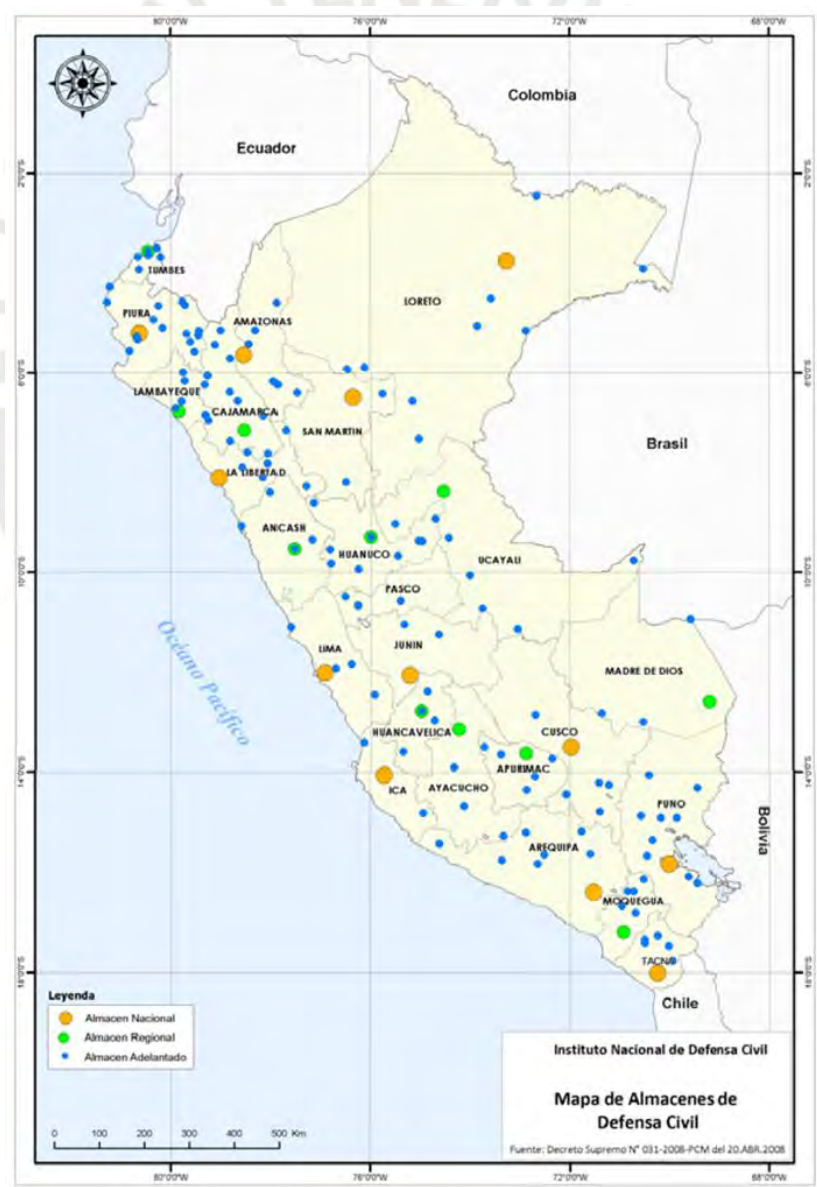
Tabla 4.3 (Continuación)

Región	Total	Cantidad de almacenes		
		Almacenes nacionales	Almacenes regionales	Almacenes adelantados
<b>Total</b>	<b>176</b>	<b>12</b>	<b>25</b>	<b>139</b>
Tacna	7	1	1	5
Tumbes	6		1	5
Ucayali	7		1	6

Fuente: tomado de INDECI (2013)

La figura 4.1 ubica geográficamente cada uno de los almacenes mostrados en la tabla 4.3.

Figura 4.1 Almacenes de INDECI



Fuente: INDECI (2013)

Según INDECI (2013), Lima dispone de siete almacenes, uno nacional, uno regional y cinco adelantados. Al respecto, Serpa (2014) concluye que el desarrollo de rutas para trasladar los recursos de ayuda humanitaria desde los almacenes hacia los distritos afectados sería un complemento valioso para esta propuesta de mejora y sugiere la ubicación de almacenes en LM agrupando diversos distritos abastecidos por un grupo óptimo de 22 almacenes ubicados en algunos de los distritos que formaron parte de su objeto de estudio. Sus resultados se resumen en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Ubicación de almacenes en LM y Callao

Ubicación	Abastece a	Ubicación	Abastece a
Ancón	Ancon	San Borja	San Borja
	San Juan de Lurigancho		San Luis
Ate	Ate	San Isidro	Jesús María
Carabayllo	Carabayllo		Lince
	Comas		Magdalena del Mar
	Puente Piedra		Miraflores
Chaclacayo	Chaclacayo		San Isidro
	Lurigancho		Surquillo
	Cieneguilla	San Juan de Lurigancho	Ate
	Comas		El Agustino
	Villa María del Triunfo		Rímac
Comas	Comas		San Juan de Lurigancho
La Molina	Chorrillos	San Martín de Porres	Callao
	La Molina		Independencia
La Victoria	Breña		Lima
	La Victoria		San Martín de Porres
Lima	Carmen de la Legua	San Miguel	Bellavista
	Lima		La Perla
	Pueblo Libre		La Punta
Los Olivos	Los Olivos		San Miguel
Lurigancho	Callao	Santa Rosa	Santa Rosa
	Lurigancho		Ventanilla
Pachacámac	Pachacámac	Santiago de Surco	Barranco
	Punta Negra		Chorrillos
	San Juan de Miraflores		Santiago de Surco
Punta Hermosa	Lurín	Ventanilla	Puente Piedra
	Pucusana	Villa María del Triunfo	Villa el Salvador
	Punta Hermosa		Villa María del Triunfo
	San Bartolo		
	Santa María		
	Villa El Salvador		

Fuente: Serpa (2014)

#### 4.2.2. Escenario sísmico

A continuación se describen las variables que caracterizan el escenario sísmico en LM con base en la información sísmica histórica del Perú desde 1973 hasta 2010 (CISMID, 2010) y se fija el sismo supuesto a las 4 a.m., cuando la gran mayoría de habitantes estarían en sus viviendas (PREDES, 2009).

##### Magnitud

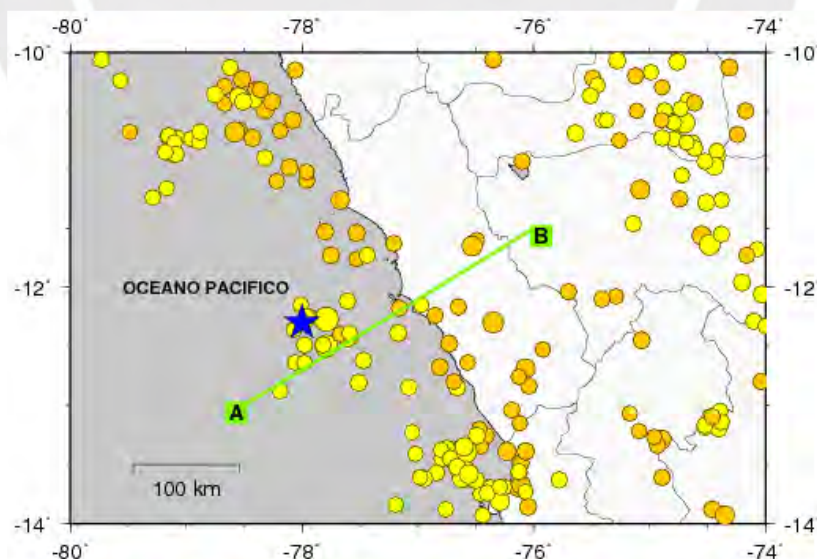
Se asume un escenario sísmico probable cuya magnitud es 8 Mw (CISMID, 2010; PREDES, 2009); al respecto Dorbath et al. (1990) hizo una recopilación de los terremotos históricos de magnitud relevante acontecidos en Perú y refiere que en 1746 ocurrió un terremoto de 8.6 Mw en la zona central de la costa del Perú, desde entonces, hay un silencio sísmico de 273 años.

##### Ubicación del epicentro

El epicentro del sismo para este estudio se ubica siguiendo la mayor densidad espacial de la distribución de los sismos históricos ocurridos frente a las costas de Lima (vea la figura 4.2), y la ubicación del epicentro siguiente:

- Latitud 12.3°S
- Longitud 78°W.
- Ubicación: a 70 kilómetros al oeste de La Punta, en El Callao

Figura 4.2 Densidad espacial de sismos históricos, referencia eje AB– Litoral central

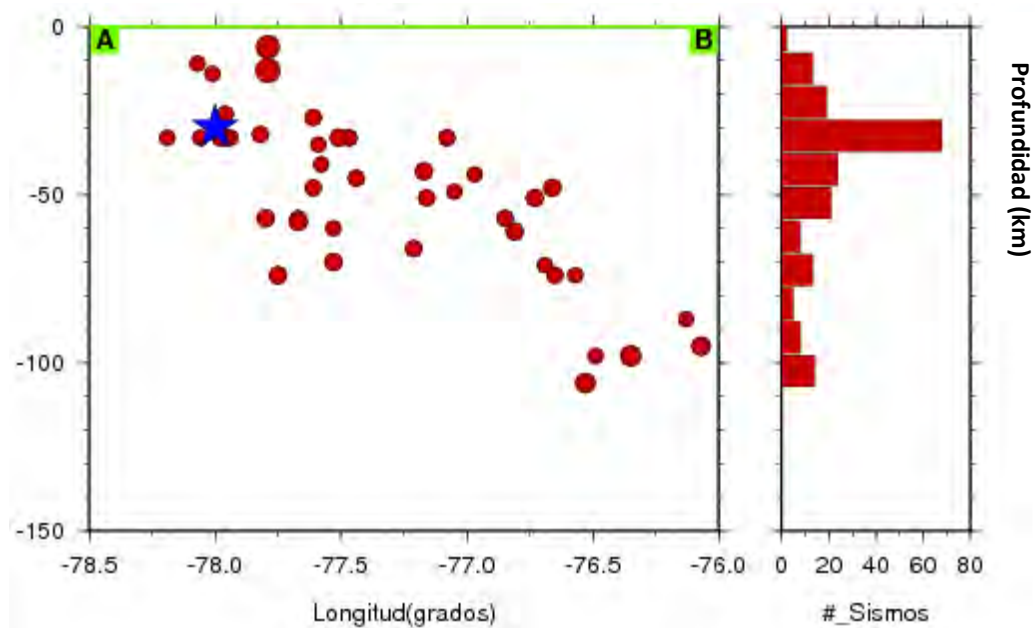


Fuente: tomado de CISMID (2010)

Según PREDES (2009), la profundidad se fija siguiendo la mayor densidad espacial de las profundidades históricas de sismos ocurridos en Lima-Callao: la profundidad epicentral probable

de 25-33 km. Por otro lado, CISMID (2010) calcula esta profundidad también en kilómetros y toma como referencia un corte transversal del eje AB tomado en la figura 4.2, lo proyecta a profundidad de la corteza terrestre y muestra en dispersión, las profundidades históricas de terremotos en dicha sección transversal AB. A partir de esa dispersión se determina la cantidad de eventos sísmicos y la moda que ubica el evento a 25 km de profundidad (vea la zona derecha de la figura 4.3)

Figura 4.3 Corte AB transversal (izquierda) y número de sismos en el corte AB (derecha).



Fuente: tomado de CISMID (2010)

#### 4.2.3. Alcance geográfico del estudio

En la provincia constitucional de El Callao se ubica un puerto importante, en una zona densamente poblada del Perú y ha sido ampliamente estudiado debido a su localización costera y particular vulnerabilidad en caso de un evento natural (PREDES, 2009). El Callao fue afectado por tsunamis en los años 1586 y 1687; y en el año 1746 produjo pérdidas catastróficas como la muerte de 6000 personas que equivale el 96 % de su población. Al respecto, CISMID (2010) estudia los efectos que tendría un maremoto posterior a un terremoto con base en la historia sísmica de la provincia constitucional y hay también aplicaciones matemáticas enfocadas en El Callao, como la propuesta de Velásquez (2018) que la describe como una de las provincias más vulnerables ante terremotos y tsunamis, y aborda de manera integral las variables particulares de vulnerabilidad de esta provincia.

Debido a la amplitud y frecuencia de los estudios que consideran las particularidades de El Callao, esta tesis no profundiza en esta zona y su alcance abarca los distritos de Lima que se muestran en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 Distritos de Lima en el alcance del estudio

Sector	Distrito	Población proyectada al 30/06/2017	Densidad poblacional (hab./km <sup>2</sup> )
Lima Norte	Ancón	41 474	139
	Carabaylo	317 952	917
	Comas	537 263	11 021
	Independencia	220 372	15 135
	Los Olivos	384 711	21 080
	Puente Piedra	373 062	5 241
	Rímac	162 897	13 723
	San Martín de Porres	729 974	19 777
Lima Sur	Chorrillos	336 054	8 630
	San Juan de Miraflores	415 870	17 342
	Villa El Salvador	482 027	13 594
	Villa María del Triunfo	465 735	6 600
Lima Central	Lima	265 693	12 088
	Barranco	28 970	8 700
	Breña	74 711	23 202
	Jesús María	71 680	15 685
	Lince	49 064	16 193
	Magdalena del Mar	54 925	15 215
	Miraflores	81 619	8 484
	Pueblo Libre	76 129	17 381
	San Borja	112 712	11 316
	San Isidro	53 460	4 816
	San Luis	58 461	16 751
	Santiago de Surco	329 152	10 290
	Surquillo	91 474	26 438
La Victoria	166 657	19 068	
Lima Este	Ate	661 786	8 515
	Chaclacayo	44 197	1 119
	Cieneguilla	49 707	207
	El Agustino	195 304	15 574
	La Molina	179 785	970
	Lurigancho	229 307	8 674
	San Juan de Lurigancho	1 138 453	22 291
	Santa Anita	238 290	22 291

Fuente: INEI (2017)

En esta tesis, para evaluar la vulnerabilidad sísmica de Lima, se sigue la metodología propuesta por PREDES (2009, p. 23) que identificó que ciertos distritos son amplios y heterogéneos, y sus índices de vulnerabilidad no reflejan de manera precisa la realidad. En consecuencia, estos distritos se sectorizan en zonas homogéneas con características similares en las edificaciones tales como el material de construcción predominante, la tipología constructiva, el estado de conservación y la altura, de la vivienda.

Estas características son clasificadas numéricamente del 1 al 4, con valoraciones desde bajo a muy alto, respectivamente. PREDES (2009, p. 23). Además, se toma en cuenta la población según el Censo Nacional Poblacional y de Vivienda 2017 (INEI, 2018).

Los distritos no sectorizados (ver tabla 4.6) son aquellos en los que no se encuentra heterogeneidad por sectores y se toman como un todo para ser valorados según las características listadas previamente. Estos distritos fueron identificados en PREDES (2009) pero no se subdividen para estimar los niveles de vulnerabilidad potencial estimados por sectores PREDES (2009, pp. 31-35).

Tabla 4.6 Distritos no sectorizados

Distrito	Población proyectada al 30/06/2017
Ancón	41 474
Breña	74 711
Carabayllo	317 952
Chaclacayo	44 197
Cieneguilla	49 707
Comas	537 263
El Agustino	195 304
Jesús María	71 680
Lince	49 064
Pueblo Libre	76 129
Puente Piedra	373 062
San Borja	112 712
San Isidro	53 460
San Luis	58 461
San Miguel	137 247
Santa Anita	238 290
Surquillo	91 474

Fuente: PREDES (2009)

#### 4.2.4. Indicadores de estimación de la vulnerabilidad

El estudio de PREDES (2009), propone indicadores de estimación de la vulnerabilidad como son la densidad poblacional (vea tabla 4.7), material de construcción predominante y la tipología

constructiva de la vivienda (vea tabla 4.8) ponderados según la estimación de vulnerabilidad (vea tabla 4.9).

Tabla 4.7 Densidad poblacional

Densidad poblacional	Rangos (habitantes / hectárea)
Densidad alta	450 - más
Densidad media – alta	350 – 450
Densidad media	250 – 350
Densidad media – baja	150 – 250
Densidad baja	70 – 150

Fuente: PREDES (2009, p. 25)

Tabla 4.8 Parámetros e indicadores de estimación de vulnerabilidad en el sector urbano

Parámetros	Indicadores	Descripción	Nivel de vulnerabilidad
<b>Población</b>			
Densidad	Cantidad de pobladores por distrito (sector) / Área ocupada por distrito (sector)	Densidad media – alta	Muy alto
		Densidad media	Alto
		Densidad media – baja	Medio
		Densidad baja	Bajo
<b>Vivienda</b>			
Material de construcción predominante	Mayor cantidad de viviendas con el mismo material constructivo de muros en un distrito/	Adobe	Muy alto
		Quincha	Alto
		Albañilería	Medio
		Madera	Bajo
Tipología constructiva de vivienda	Mayor cantidad de viviendas con la misma tipología constructiva en un distrito/ sector	Vivienda improvisada	Muy alto
		Quinta	Alto
		Edificio	Medio
		Casa independiente	Bajo
Estado de conservación de viviendas	Mayor cantidad de viviendas con el mismo estado de conservación en un distrito/ sector	Deteriorada	Muy alto
		En consolidación	Alto
		Densificada	Medio
		Consolidada	Bajo
Altura de vivienda	Cantidad de pisos predominante en el distrito / sector	4 pisos a más	Muy alto
		3 pisos	Alto
		2 pisos	Medio
		1 piso	Bajo

Fuente: elaborado con datos de PREDES (2009, p. 30)

Tabla 4.9 Ponderación para la estimación de vulnerabilidad según escenario

Niveles de vulnerabilidad	
Muy alto	4
Alto	3
Medio	2
Bajo	1

Fuente: tomado de PREDES (2009, p. 30)

#### 4.2.5. Metodología para determinar el número de damnificados

El estudio detallado de PREDES (2009) desarrolla los niveles de vulnerabilidad potencial y los estima por sectores en tablas desagregadas y así obtiene la asignación de nivel de vulnerabilidad por sector. En el mismo trabajo antes mencionado se valora del 1 al 4 las características de vulnerabilidad mostradas en la tabla 4.10 por sector en caso de estar sectorizado o por distrito en caso de no estar sectorizado (vea tabla 4.6) y pertenecer al alcance de esta tesis.

En la tabla 4.10 se observa el sistema de valoración de PREDES (2009) en un ejemplo por sector en el caso de Lima y otro por distrito en el caso de Ancón, ya que este último no fue sectorizado (volver a tabla 4.6 para distritos no sectorizados). El estudio toma el valor “Total” (ver tabla 4.10) y con base en el número, se escoge un rango para estimación de daños en la población con el criterio que se muestra en la tabla 4.11.

Del último ejemplo para el distrito de Ancón (línea 8 de la tabla 4.10), se suman los niveles de vulnerabilidad, 1 para vulnerabilidad poblacional, 2 para vulnerabilidad del material, 1 para vulnerabilidad de vivienda y  $1 + 2 = 3$  para vulnerabilidad por conservación que toma en cuenta la altura de la edificación. El total de 7 dividido entre 4 por los tipos de vulnerabilidad resulta en 1.75 y es redondeado hacia arriba para su registro.

Tabla 4.10 Ejemplo de niveles de vulnerabilidad potencial estimados por sectores (ver anexo 7)

Nº	Distrito	Código del sector	Densidad			VULNERABILIDAD POBLACIONAL	Material de vivienda predominante	VULNERABILIDAD DEL MATERIAL	Tipo de vivienda predominante	VULNERABILIDAD DE VIVIENDA	Estado de conservación	VULNERABILIDAD POR CONSERVACIÓN	Altura de edificación predominante	VULNERABILIDAD	Total
			Población distrital	Área neta(ha)	Densidad (Hab/ha)										
1	LIMA		299493	2160.4	138.5										
2	Lima	L1			138.5	Baja	1	Adobe	4	Quinta	3	Deteriorada	4	3	4
3	Lima	L2			138.5	Baja	1	Albañilería	2	Quinta	3	Deteriorada	4	3	3
4	Lima	L3			138.5	Baja	1	Albañilería	2	Edificio	2	Densificada	2	3	2
5	Lima	L4			138.5	Baja	1	Albañilería	2	Casa indep	1	Consolidada	1	2	2
6	Lima	L5			138.5	Baja	1	Albañilería	2	Casa indep	1	Consolidada	1	1	1
7	Lima	L6			138.5	Baja	1	Madera	1	Improvisada	4	Deteriorada	4	1	3
8	ANCÓN	AN	33367	1130.32	29.52	Baja	1	Albañilería	2	Casa indep	1	Consolidada	1	2	2

Fuente: elaborado con datos de PREDES (2009, p. 31)

### Rangos para la elección del nivel de riesgo a partir del nivel de vulnerabilidad total

El rango para la estimación de daños en la población se basa en niveles y sigue el siguiente criterio: para el “nivel 1” de vulnerabilidad se selecciona entre los rangos 10 y 20 en el cual es determinante el material de la vivienda y el tipo de suelo que se considera previamente en la metodología. Mientras más vulnerable sea el sector, se preferirá un rango mayor ya que se espera que genere mayor cantidad de afectados. Para el “nivel 2” de vulnerabilidad, entre los rangos 30 y 40 siguiendo la misma lógica que para el “nivel 1”. Para el “nivel 3” de vulnerabilidad, se debe seleccionar el rango 60. Para el “nivel 4”, entre los rangos 70 y 80 y como en esta tesis ningún sector o distrito excede el nivel 4, entonces se escogerá como máximo el rango 80 (vea la tabla 4.11, luego los ejemplos de la columna “Rango seleccionado” en la tabla 4.12).

Los rangos para determinar los posibles daños máximos que podría causar el escenario de riesgo sísmico que se aplican a la población por cada sector o distrito se muestran en la tabla 4.11 y un ejemplo de la selección del rango de la población afectada en la tabla 4.12.

Tabla 4.11 Rangos para la elección del nivel de riesgo en el escenario propuesto

	Rangos	Fallecidos	Heridos	Cantidad de afectados	Total
<b>Pobación afectada</b>	0	0.1%	0.2%	99.7%	100%
	10	0.1%	1.0%	98.9%	100%
	20	0.2%	1.8%	98.0%	100%
	30	0.3%	3.0%	96.7%	100%
	40	0.4%	4.0%	95.6%	100%
	50	0.5%	6.0%	93.5%	100%
	60	0.8%	8.2%	91.0%	100%
	70	1.0%	12.0%	87.0%	100%
	80	1.3%	19.0%	79.7%	100%
	90	1.5%	24.0%	74.5%	100%
	100	2.0%	30.0%	68.0%	100%

Fuente: tomado de PREDES (2009, p. 42)

Tabla 4.12 Ejemplo de selección de rango de población afectada

Sector o distrito	Suma total de características de vulnerabilidad	Cantidad de criterios de valoración	Promedio de nivel de vulnerabilidad	Nivel total de vulnerabilidad para selección de rango según PREDES	Rango seleccionado (tabla 3.11)
LIMA L1...L6			2.6	<b>3</b>	60
ANCÓN	7	4	1.75	<b>2</b>	20 o 30

Fuente: elaborado con datos de PREDES (2009, p. 31)

En la tabla 4.12 también se observa el “promedio de nivel de vulnerabilidad” obtenido con la metodología explicada y es cercano al del nivel total de vulnerabilidad con el cual se selecciona el rango según PREDES (2009). Por ejemplo, para Ancón se tiene 7 de vulnerabilidad dividido por los 4 criterios de valoración. Se obtiene un promedio de 1.75 que es redondeado hacia arriba para seleccionar el rango de la tabla 4.12.

En esta tesis, se calcula un promedio simple de los valores para los distritos sectorizados (i.e. para Lima, el nivel de vulnerabilidad será 3, ya que 2.6 es el promedio de los sectores de LIMA L1 a LIMA L6, vea la tabla 4.10). Para los distritos no sectorizados, se toma el promedio simple de los valores del distrito. La estimación final de daños en la población se muestra en la tabla 4.13.

Tabla 4.13 Selección de rango para estimación de daños en la población por distrito y porcentaje de damnificados, en el alcance de la tesis

Distrito	Nivel de vulnerabilidad (NV) total	Criterio a utilizar	Selección de rango según criterio	Fallecidos por rango	Heridos por rango	Porcentaje de habitantes no afectados	Total
Ancón	2.00	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
Ate	1.83	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
Barranco	2.50	3	60	0.8%	8%	91.0%	100%
Breña	2.00	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
Carabaylo	2.00	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
Chaclacayo	2.00	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
Chorrillos	1.80	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
Cieneguilla	1.00	1	10	0.1%	1%	98.9%	100%
Comas	2.00	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
El Agustino	3.00	4	70	1.0%	12%	87.0%	100%
Independencia	2.00	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
Jesús María	2.00	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
La Molina	2.00	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
La Victoria	2.33	3	60	0.8%	8%	91.0%	100%
Lima	2.50	3	60	0.8%	8%	91.0%	100%
Lince	2.00	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
Los Olivos	1.63	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
Lurigancho	2.00	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
Magdalena del Mar	2.50	3	60	0.8%	8%	91.0%	100%
Miraflores	2.50	3	60	0.8%	8%	91.0%	100%
Pueblo Libre	2.00	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
Puente Piedra	2.00	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
Rímac	2.25	3	60	0.8%	8%	91.0%	100%
San Borja	3.00	4	70	1.0%	12%	87.0%	100%
San Isidro	3.00	3	60	0.8%	8%	91.0%	100%
San Juan de Lurigancho	2.38	3	60	0.8%	8%	91.0%	100%
San Juan de Miraflores	2.00	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
San Luis	2.00	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
San Martín de Porres	2.50	3	60	0.8%	8%	91.0%	100%
San Miguel	2.00	2	20	0.2%	2%	98.0%	100%
Santa Anita	2.00	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
Santiago de Surco	2.50	3	60	0.8%	8%	91.0%	100%
Surquillo	2.00	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
Villa el Salvador	2.00	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%
Villa María del Triunfo	2.00	2	30	0.3%	3%	96.7%	100%

Fuente: adaptado de PREDES (2009)

#### 4.2.6. Determinación del número de afectados

Según la selección del porcentaje de afectación (heridos y fallecidos por rango) de acuerdo con los niveles de riesgo brindados para la estimación de daños en la población por distrito para los sectores del alcance de la tesis, se obtiene un total estimado de 8 884 653 afectados (tabla 4.14).

Tabla 4.14 Población afectada de acuerdo con los niveles de riesgo

Distrito	Fallecidos por rango	Heridos por rango	Población no afectada	Población total
Ancón	125	1 245	40 106	41 476
Ate	1 986	19 854	639 948	661 788
Barranco	232	2 376	26 363	28 971
Breña	225	2 242	72 246	74 713
Carabaylo	954	9 539	307 460	317 953
Chaclacayo	133	1 326	42 739	44 198
Chorrillos	1 009	10 082	324 965	336 056
Cieneguilla	50	498	49 161	49 709
Comas	1 612	16 118	519 534	537 264
El agustino	1 954	23 437	169 915	195 306
Independencia	662	6 612	213 100	220 374
Jesús María	216	2 151	69 315	71 682
La Molina	540	5 394	173 853	179 787
La Victoria	1 334	13 666	151 658	166 658
Lima	2 126	21 787	241 781	265 694
Lince	148	1 472	47 445	49 065
Los Olivos	1 155	11 542	372 016	384 713
Lurigancho	688	6 880	221 740	229 308
Magdalena del Mar	440	4 504	49 982	54 926
Miraflores	653	6 693	74 274	81 620
Pueblo Libre	229	2 284	73 617	76 130
Puente Piedra	1 120	11 192	360 751	373 063
Rímac	1 304	13 358	148 237	162 899
San Borja	1 128	13 526	98 060	112 714
San Isidro	428	4 384	48 649	53 461
San Juan de Lurigancho	9 108	93 354	1 035 993	1 138 455
San Juan de Miraflores	1 248	12 477	402 147	415 872
San Luis	176	1 754	56 532	58 462
San Martín de Porres	5 840	59 858	664 277	729 975
San Miguel	275	2 471	134 503	137 249
Santa Anita	715	7 149	230 427	238 291
Santiago de Surco	2 861	29 322	325 396	357 579
Surquillo	275	2 745	88 456	91 476
Villa el Salvador	1 447	14 461	466 121	482 029
Villa María del Triunfo	1 398	13 973	450 366	465 737
	<b>43 794</b>	<b>449 726</b>	<b>8 391 133</b>	<b>8 884 653</b>

Fuente: adaptado de INEI (2018)

Según la SGCA (2018) los afectados son las personas que resultan perjudicadas de forma directa o indirecta por un evento peligroso, y como consecuencia han sufrido lesiones, enfermedades u otros efectos en su salud. Estos tienden a ser evacuados, desplazados, reubicados o han padecido daños directos en sus fuentes de sustento de vida o bienes económicos, físicos, sociales, culturales y/o ambientales (p. 4). Tomando en cuenta la terminología propuesta, se consideran afectados tanto a los fallecidos y heridos como consecuencia del desastre natural en los sectores del alcance del estudio; las cantidades se muestran en las tablas 4.15 y 4.16.

Tabla 4.15 Conteo total de población afectada en el escenario propuesto para los sectores del alcance del estudio

Población	
<b>Fallecidos</b>	<b>43 794</b>
<b>Heridos</b>	<b>449 726</b>
No afectados	8 391 133
<b>Total población</b>	<b>8 884 653</b>

Fuente: adaptado de PREDES (2009)

Tabla 4.16 Conteo total de población damnificada a considerar para el modelo propuesto

Población calculada para el estudio	
Fallecidos	43 794
Heridos	449 726
<b>Población damnificada</b>	<b>493 520</b>

Fuente: adaptado de PREDES (2009)

Según INDECI (2018), citado en La República (2018), con base en los datos recolectados por el Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) del simulacro nacional llevado a cabo el 31 de mayo del 2018, se estiman 50 000 fallecidos y 500 000 afectados como resultado de la ocurrencia de un terremoto de magnitud 8.5 Mw: es decir que la población damnificada estimada por INDECI es de 550 000 ciudadanos. Considerando que el escenario de terremoto propuesto en este estudio tiene una magnitud menor al del simulacro (8 Mw) y excluye a El Callao; entonces la población damnificada estimada de 493 520 personas es razonable.

#### **4.2.7. Cantidad y ubicación de almacenes necesarios para el modelo**

Serpa (2014) usa como parámetro la distancia entre distritos y propone la ubicación de centros de distribución basándose en la menor distancia posible y la zonificación del distrito (véase sección 2.5.3). Para cada escenario, la ubicación de almacenes sigue uno de dos criterios; el número de damnificados o por superficie territorial. Ambos criterios, con escenarios donde varía el número

de almacenes. Serpa propone el modelo para 22; 27; 32 y 37 almacenes. En esta tesis se toman las recomendaciones de ubicación y cantidad de almacenes por “superficie territorial” como entrada del modelo. La tabla 4.17 muestra el total de damnificados en un escenario de 15 almacenes y esa cifra de almacenes se incrementa en los escenarios hasta coincidir con las corridas de Serpa o encontrar complejidad computacional; lo que suceda primero. Debido a que se inicia con un escenario de 15 almacenes que es menor al de 22 almacenes inicial de Serpa (2014, p. 70) se conserva la misma distribución de ubicaciones y a los que abastece la propuesta de 22 almacenes, en la medida de lo posible.

Tabla 4.17 Cantidad y ubicación de almacenes – cantidad de damnificados (15 almacenes)

N°	Ubicación	Abastece a	Población	Fallecidos por rango	Heridos por rango	Total de damnificados
1 Ancón	Ancón		41 474	125	1 245	103 832
	San Juan de Lurigancho		1 138 453	9 108	93 354	
2 Ate	Ate		661 786	1 986	19 854	21 840
3 Carabayllo	Carabayllo		317 952	954	9 539	40 535
	Comas		537 263	1 612	16 118	
	Puente Piedra		373 062	1 120	11 192	
4 Chaclacayo	Chaclacayo		44 197	133	1 326	9 027
	Lurigancho		229 307	688	6 880	
5 Cieneguilla	Cieneguilla		49 707	50	498	15 919
	Villa María del Triunfo		465 735	1 398	13 973	
6 La Molina	Chorrillos		336 054	1 009	10 082	24 889
	La Molina		179 785	540	5 394	
	Santa Anita		238 290	715	7 149	
7 La Victoria	Breña		74 711	225	2 242	17 467
	La Victoria		166 657	1 334	13 666	
8 Lima	Lima		265 693	2 126	21 787	29 172
	Pueblo Libre		76 129	229	2 284	
	San Miguel		137 247	275	2 471	
9 Los Olivos	Los Olivos		384 711	1 155	11 542	12 697
10 San Borja	San Borja		112 712	1 128	13 526	16 584
	San Luis		58 461	176	1 754	
11 San Isidro	Jesús María		71 680	216	2 151	24 109
	Lince		49 064	148	1 472	
	Magdalena del Mar		54 925	440	4 504	
	Miraflores		81 619	653	6 693	
	San Isidro		53 460	428	4 384	
	Surquillo		91 474	275	2 745	
12 San Juan de Lurigancho	El Agustino		195 304	1 954	23 437	40 053
	Rímac		162 897	1 304	13 358	
13 San Martín de Porres	Independencia		220 372	662	6 612	72 972
	San Martín de Porres		729 974	5 840	59 858	
14 Santiago de Surco	Barranco		28 970	232	2 376	34 791
	Santiago de Surco		357 577	2 861	29 322	
15 Villa María del Triunfo	Villa El Salvador		482 027	1 447	14 461	29 633
	San Juan de Miraflores		415 870	1 248	12 477	
<b>Total</b>						<b>493 520</b>

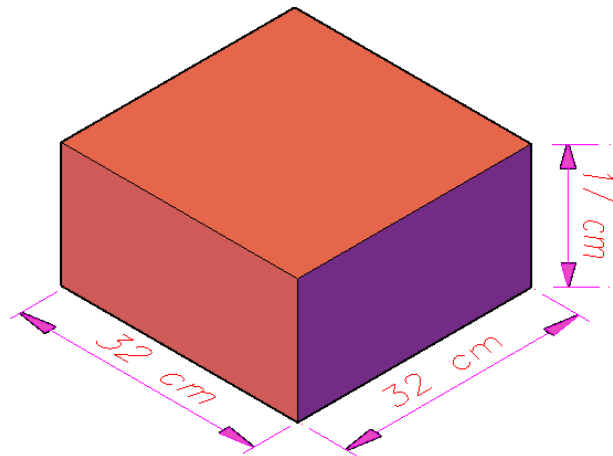
Fuente: adaptado de Serpa (2014)

En el anexo 5 se ubican las tablas para cantidad y ubicación de almacenes con la estimación total de damnificados para los escenarios de 16, 17, 18 y 19 almacenes.

#### 4.2.8. Kit de ayuda humanitaria alimentaria

Las propiedades físicas de los productos del *kit* de ayuda humanitaria alimentaria a repartir derivan directamente de las características calóricas que estas deben proporcionar. Como se indica en la sección 2.9, la ración alimentaria debe aportar un mínimo de 2100 kcal para un día de alimentación. Con base en el Proyecto Esfera, INDECI (2017) propone un kit de ración fría con un peso de 576 g que aporta 2122 kcal. Los productos escogidos deben garantizar el aporte calórico y deben ser empaquetados dentro del *kit* en un volumen aproximado de 17 500 cm<sup>3</sup>.

Figura 4.4 Dimensiones del kit de ayuda alimentaria



#### 4.2.9. Capacidad de los vehículos de transporte y cantidad necesaria

INDECI cuenta con vehículos de diferentes capacidades volumétricas y de carga seca. Para esta tesis se tomarán las unidades correspondientes a 32 m<sup>3</sup> de capacidad volumétrica y tamaño medio, debido a su maniobrabilidad y agilidad para facilitar el acceso a zonas de emergencia (ver anexo 8). La cantidad de estos vehículos será definida por la demanda máxima (total de damnificados) sobre el número de kits que puede transportar un vehículo como máximo. La atención se enfoca en los almacenes propuestos por Serpa (2014) y adaptados para este estudio.

Partiendo de la información del total de damnificados a ser atendidos por ubicación, el volumen determinado del kit de ayuda humanitaria alimentaria y la capacidad volumétrica del vehículo, obtenemos la cantidad de vehículos necesarios para atender cada ubicación. Primero se determina la cantidad máxima de kits que puede transportar cada vehículo para después dividir la cantidad total de damnificados por esta cantidad máxima de kits, obteniendo así el número de vehículos necesarios. En la tabla 4.18 se observa que SJL y SMP son los distritos que mayor cantidad de unidades requerirían para satisfacer su demanda con 57 y 40 vehículos respectivamente si se quisiera administrar ayuda en un solo viaje.

Tabla 4.18 Cantidad necesaria de vehículos (15 almacenes)

N°	Ubicación	Abastece a	Total de damnificados	Volumen del kit (m <sup>3</sup> )	Capacidad volumétrica del vehículo (m <sup>3</sup> )	Número de kits por vehículo (m <sup>3</sup> )	Número de vehículos necesarios
1	Ancón	Ancón San Juan de Lurigancho	103 832	0.0175	32	1828	57
2	Ate	Ate	21 840	0.0175	32	1828	12
3	Carabayllo	Carabayllo Comas Puente Piedra	40 535	0.0175	32	1828	23
4	Chaclacayo	Chaclacayo Lurigancho	9 027	0.0175	32	1828	5
5	Cieneguilla	Cieneguilla Villa María del Triunfo	15 919	0.0175	32	1828	9
6	La Molina	Chorrillos La Molina Santa Anita	24 889	0.0175	32	1828	14
7	La Victoria	Breña La Victoria	17 467	0.0175	32	1828	10
8	Lima	Lima Pueblo Libre San Miguel	29 172	0.0175	32	1828	16
9	Los Olivos	Los Olivos	12 697	0.0175	32	1828	7
10	San Borja	San Borja San Luis	16 584	0.0175	32	1828	10
11	San Isidro	Jesús María Lince Magdalena del Mar Miraflores San Isidro Surquillo	24 109	0.0175	32	1828	14
12	San Juan de Lurigancho	El Agustino Rímac	40 053	0.0175	32	1828	22
13	San Martín de Porres	Independencia San Martín de Porres	72 972	0.0175	32	1828	40
14	Santiago de Surco	Barranco Santiago de Surco	34 791	0.0175	32	1828	20
15	Villa María del Triunfo	Villa El Salvador San Juan de Miraflores	29 633	0.0175	32	1828	17

493 520

En el anexo 6 se ubican las tablas para la cantidad necesaria de vehículos para los escenarios de 16, 17, 18 y 19 almacenes.

#### 4.2.10. El modelo matemático

INDECI (2017) refiere que según la GOAASE hace falta que las personas afectadas por el fenómeno natural rellenen una *ficha técnica de asistencia alimentaria de emergencia* que permitan obtener cantidad de afectados y ubicación de la emergencia. Tanto en esta primera guía de orientación, como en los LAADAAED (INDECI, 2017) no se cuenta con una propuesta matemática que permita administrar la ayuda alimentaria a las áreas de emergencia, para aliviar esta ausencia, se propone el siguiente modelo matemático que parte de la investigación de Dessouky et al. (2006), quienes usan variables estocásticas en su modelo de ruteo. No obstante,

para esta tesis, los parámetros definidos son determinísticos y el modelo es de programación entera mixta (PEM). Después de explicar la elección del modelo matemático, en esta sección se descomponen y explican las partes a continuación.

### Conjuntos e índices

$C$	:	Conjunto de clientes
DC	:	Centro de distribución central INDECI, ubicado en El Callao
$N$ (Nodos)	:	Conjunto de nodos donde 0 representa el DC   $N = \{0\} \cup C$
$A$ (Arcos)	:	Conjunto de arcos entre cada nodo   $A = \{(i, j) \in N : i \neq j\}$

### Parámetros determinísticos

$c_{i,j}$	:	Distancia (costo) entre el nodo $i$ y el nodo $j$
$n$	:	Cantidad de vehículos disponibles
$q$	:	Capacidad volumétrica requerida para satisfacer la demanda de los clientes   $c \in C$
$Q$	:	Capacidad volumétrica total de los $n$ vehículos destinados a satisfacer la demanda.

### Variables de decisión

$X_{i,j} = \begin{cases} 1; \\ 0; \end{cases}$	:	si los vehículos $n$ transitan por el arco $(i, j) \in A$ de lo contrario
$u_i =$	:	Necesidad ( $i$ ) de los clientes $C$ a ser satisfecha

### Función objetivo

El objetivo de minimizar la sumatoria de las distancias totales no atendidas en todos los puntos de demanda.

$$\text{Minimizar } \sum_{i \in A} \sum_{j \in A} x_{ij} c_{ij}$$

### Restricciones

Las restricciones (1) a (4) caracterizan el flujo de vehículos en la red de distribución de bienes de ayuda humanitaria alimentaria.

$$\sum_{i \in C} x_{i,j} = 1 \quad \forall j \in N \dots (1)$$

$$\sum_{j \in C} x_{i,j} = 1 \quad \forall i \in N \dots (2)$$

Las restricciones (1) y (2) indican que la sumatoria de las variables binarias es igual a uno para todos los nodos, es decir, exactamente un arco ingresa y sale de cada vértice asociado a cada punto de demanda o cliente (C), respectivamente.

Las restricciones (3a) y (3b) indican que la capacidad volumétrica requerida para satisfacer la demanda de los clientes (C) no debe exceder la capacidad volumétrica total de los vehículos destinados a satisfacer la demanda.

$$\sum_{i \in \Delta+(0)} x_{i,0} = q \quad \forall i \in N, q \in Q \dots (3a)$$

$$\sum_{j \in \Delta-(0)} x_{0,j} = q \quad \forall i \in N, q \in Q \dots (3b)$$

Donde, según Toth y Vigo (2002) el gráfico (de ruteo) debe estar conectado completamente o se asume que generalmente lo está. Dado un vértice  $i$ , se denota a  $\Delta +$  como la llamada *forward star* de  $i$ , definida como el set de vértices  $j$ , de forma tal que el arco  $(i, j) \in A$ , i.e., los vértices directamente alcanzables desde  $i$ . Análogamente, se denota a  $\Delta -$  como *backward star* del vértice  $i$ , definida como el set de vértices  $j$ , así entonces el arco  $(j, i) \in A$ , i.e., los vértices desde los que  $i$ , es directamente alcanzable.

Análogamente, las restricciones (3a) y (3b) muestran la capacidad volumétrica requerida para satisfacer la demanda de los clientes,  $q$ , a transportar de nodo a nodo tanto si es de salida, como de entrada de almacén.

La restricción (4) es la llamada restricción de corte de capacidad (CCC) que impone tanto la conectividad de la solución y los requisitos de capacidad del vehículo. De hecho, estipula que cada conjunto de clientes  $S$  está atravesado por un número de arcos no menor que  $r(S)$  (capacidad volumétrica mínima para dar servicio al conjunto de clientes  $S$  y sirve para restringir la capacidad de carga y la eliminación de *subtours*).

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{i,j} \geq r(S)_{i,j} \quad \forall S \subseteq C \mid \{0\}, S \neq 0 \dots (4)$$

Para minimizar la complejidad de la cantidad de restricciones por número de nodos que (4) genera, para esta tesis, se recurre a una formulación alternativa transformando la restricción (4),

por medio de las restricciones de grado, en la conocida restricción de eliminación de *subtour* generalizada (*Generalized Subtour Elimination Constraints*, GSEC) o las llamadas restricciones *Miller-Tucker-Zemlin (MTZ)* que introduce una nueva variable  $u = (u_1, \dots, u_n)$  de acumulación.

$$MTZ) \text{ Si } x_{i,j} = 1 \rightarrow u_i + q = u_j \quad (i,j) \in A : i \neq 0, j \neq 0$$

$$u_i + q - u_j = 0$$

$$MTZ2) q \leq u_i < Q \quad i \in N$$

Ambas restricciones MTZ toman la configuración de un M muy grande. En MTZ se debe cumplir que si  $x_{i,j}$  es igual a 1, entonces se debe sumar la necesidad a ser satisfecha ( $u_i$ ) más la capacidad volumétrica requerida para satisfacer la demanda de los clientes ( $q$ ). Esto está sujeto a la restricción MTZ2 donde la necesidad a ser satisfecha ( $u_i$ ) debe ser mayor a la capacidad volumétrica requerida para satisfacer la demanda de los clientes ( $q$ ), y no puede ser mayor a la capacidad volumétrica máxima de los vehículos ( $Q$ ).

No se define un  $M \gg 0$  porque CPLEX permite el uso de *indicator constraints* para hacer más precisos los valores estimados y no se toma el supuesto de un M y así se supera el debate de qué tan grande tiene que ser el M a ingresar para obtener los valores más precisos posibles.

### 4.3. Modelo matemático en lenguaje de programación Python

El modelo explicado se programa en el lenguaje Python, versión 3.7 y se basa en los algoritmos que proporciona el IBM ILOG CPLEX. Para el modelo matemático propuesto, como se indicó previamente, se corren cinco escenarios, desde los 15 a los 19 centros de atención (almacenes). Cada escenario siguiente, incrementa un centro de distribución. La selección y distribución de distritos en dónde ubicar los almacenes sigue la propuesta de Serpa (2014), excluyendo a El Callao debido a su propensión a ser afectado por tsunamis y a la necesidad de estudiarlo independientemente por este factor particular de acuerdo con Velásquez (2014).

Para obtener las distancias en km entre el DC (Almacén Nacional General de INDECI) y los demás nodos/clientes que operan como centros de distribución, se usa el software libre Google Earth y la herramienta de “Agregar Ruta”. La ruta ingresada luego se convierte a coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*) con el software *Garmin MapSource* para obtenerlos en coordenadas cartesianas.

Para obtener  $q$  se multiplica el total de damnificados por ubicación por el volumen del kit. La tabla 4.19 muestra la capacidad volumétrica requerida para cada ubicación por escenario y el número de la ubicación en cada tabla está relacionado con la numeración de las ubicaciones cartesianas en las figuras.

El código programado es el usado para un modelo VRP de Toth y Vigo (2002) estándar adaptado para Python.

#### 4.3.1. Con 15 centros de distribución (almacenes o clientes)

```
N          =15 #clientes
Clientes   =[x for x in range(1,n+1)] #parte de 1, hasta el 15+1
nodos     =[0]+clientes
Q         =1824 #capacidad volumétrica de los vehículos, son 57
           vehículos de 32 m3 cada uno
q         = #Capacidad volumétrica requerida para satisfacer la
           demanda de los clientes
```



Tabla 4.19 Capacidad volumétrica requerida para satisfacer la demanda de los clientes  
- 15 almacenes

N°	Ubicación	Abastece a	q (m <sup>3</sup> )
1	Ancón	Ancón San Juan de Lurigancho	1817
2	Ate	Ate	382
3	Carabaylo	Carabaylo Comas Puente Piedra	709
4	Chaclacayo	Chaclacayo Lurigancho	158
5	Cieneguilla	Cieneguilla Villa María del Triunfo	279
6	La Molina	Chorrillos La Molina Santa Anita	436
7	La Victoria	Breña La Victoria	306
8	Lima	Lima Pueblo Libre San Miguel	511
9	Los Olivos	Los Olivos	222
10	San Borja	San Borja San Luis	290
11	San Isidro	Jesús María Lince Magdalena del Mar Miraflores San Isidro Surquillo	422
12	San Juan de Lurigancho	El Agustino Rímac	701
13	San Martín de Porres	Independencia San Martín de Porres	1277
14	Santiago de Surco	Barranco Santiago de Surco	609
15	Villa María del Triunfo	Villa El Salvador San Juan de Miraflores	519

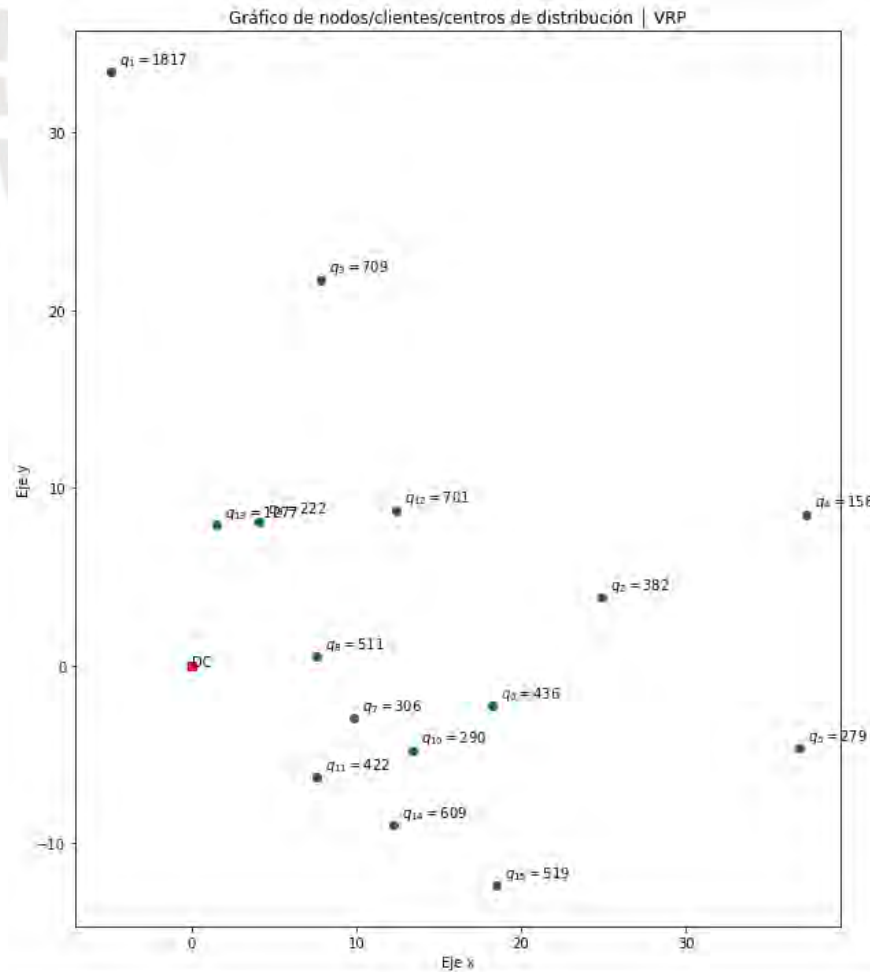
Las coordenadas X e Y para cada uno de los 15 centros de distribución propuestos se muestran en la tabla 4.20

Tabla 4.20 Coordenadas cartesianas de 15 centros de distribución propuestos

Nº	Ubicación del centro de distribución	Este	Norte	X	Y	Elevación (m)
0	DC	270 008	8 667 023	0.0	0.0	31
1	Ancón	265 082	8 700 387	-4.9	33.4	46
2	Ate	294 861	8 670 776	24.9	3.8	422
3	Carabayllo	277 998	8 688 713	8.0	21.7	232
4	Chaclacayo	307 305	8 675 476	37.3	8.5	661
5	Cieneguilla	306 763	8 662 306	36.8	-4.7	355
6	La Molina	288 352	8 664 714	18.3	-2.3	248
7	La Victoria	279 915	8 664 046	9.9	-3.0	142
8	Lima	277 640	8 667 499	7.6	0.5	138
9	Los Olivos	274 074	8 675 104	4.1	8.1	64
10	San Borja	283 456	8 662 177	13.4	-4.8	173
11	San Isidro	277 656	8 660 754	7.6	-6.3	87
12	San Juan de Luriganç	282 369	8 675 743	12.4	8.7	253
13	San Martín de Porres	271 509	8 674 877	1.5	7.9	40
14	Santiago de Surco	282 270	8 658 042	12.3	-9.0	105
15	Villa María del Triunf	288 493	8 654 719	18.5	-12.3	185

Fuente: Garmin MapSource

Figura 4.5 Ubicación de los centros de distribución en coordenadas cartesianas – 15 clientes



La función objetivo generada para el modelo es:

```
Minimize
  obj: 24.780839372386 x_7_3 + 17.601136326953 x_6_9 + 30.155928107090
x_12_1 + 11.964113005150 x_7_12 + 30.516389039334 x_14_4 +
35.805027579936 x_13_4 + 10.344563789740 x_0_7 + 51.431507852677
x_15_1 + 42.576167042138 x_1_6 + 14.233762678926 x_0_10 +
24.780839372386 x_3_7 + ...

... + 8.041144197190 x_0_13 + 21.202122535256 x_3_8 + 25.188290930510
x_2_0 + 35.194601858808 x_1_8 + 32.227317604790 x_4_3 +
17.418381095842 x_2_15 + 35.209089735465 x_9_5 + 14.705441169853 x_5_2
+ 11.423221962301 x_11_6 + 14.360013927570 x_10_2

#Se definen arcos y distancia
Arcos      ={(i,j) for i in nodos for j in nodos if i!=j}
distancia  ={(i,j):np.hypot(loc_x[i]-loc_x[j],loc_y[i]-loc_y[j]) for
            i in nodos for j in nodos if i!=j}

#Variables de decisión
x=mdl.binary_var_dict(arcos,name="x")
u=mdl.continuous_var_dict(nodos,ub=Q,name="u")

#Función objetivo
mdl.minimize(mdl.sum(distancia[i,j]*x[i,j] for i,j in arcos))

#Restricciones
1) mdl.add_constraints(mdl.sum(x[i,j] for j in nodos if i!=j)==1 for
    i in clientes)
2) mdl.add_constraints(mdl.sum(x[i,j] for i in nodos if i!=j)==1 for
    j in clientes)
MTZ)mdl.add_indicator_constraints(mdl.indicator_constraint(x[i,j],u[i]
+q[j]==u[j])for i,j in arcos if i!=0 and j!=0)
MTZ2) mdl.add_constraints(u[i]>=q[i] for i in clientes)
```

Para esta primera corrida se encuentra una solución óptima a los 1019 segundos, que son aproximadamente 17 minutos.

```
Real time          = 1018.50 sec. (198287.09 ticks)
Sync time (average) = 42.94 sec.
Wait time (average) = 2.33 sec.
```

-----

Total (root+branch&cut) = 1018.86 sec. (198298.46 ticks)

#### 4.3.2. Con 16 centros de distribución (almacenes o clientes)

N = 16 #clientes  
 Clientes = [x for x in range(1,n+1)] #parte del 1, hasta el 16+1  
 nodos = [0]+clientes  
 Q = 1824 #capacidad volumétrica de los vehículos, son 57  
 vehículos de 32 m<sup>3</sup> cada uno  
 q = #Capacidad volumétrica requerida para satisfacer la  
 demanda de los clientes

Tabla 4.21 Capacidad volumétrica requerida para satisfacer la demanda de los clientes  
 - 16 almacenes

N°	Ubicación	Abastece a	q (m <sup>3</sup> )
1	Ancón	Ancón San Juan de Lurigancho	1817
2	Ate	Ate	382
3	Carabaylo	Carabaylo Comas Puente Piedra	709
4	Chaclacayo	Chaclacayo Lurigancho	158
5	Cieneguilla	Cieneguilla Villa María del Triunfo	279
6	La Molina	Chorrillos La Molina Santa Anita	436
7	La Victoria	Breña La Victoria	306
8	Lima	Lima Pueblo Libre San Miguel	511
9	Los Olivos	Los Olivos	222
10	Pachacámac	San Juan de Miraflores	240
11	San Borja	San Borja San Luis	290
12	San Isidro	Jesús María Lince Magdalena del Mar Miraflores San Isidro Surquillo	422

Tabla 4.21 (Continuación)

N°	Ubicación	Abastece a	q (m <sup>3</sup> )
13	San Juan de Lurigancho	El Agustino Rímac	701
14	San Martín de Porres	Independencia San Martín de Porres	1277
15	Santiago de Surco	Barranco Santiago de Surco	609
16	Villa María del Triunfo	Villa El Salvador	278

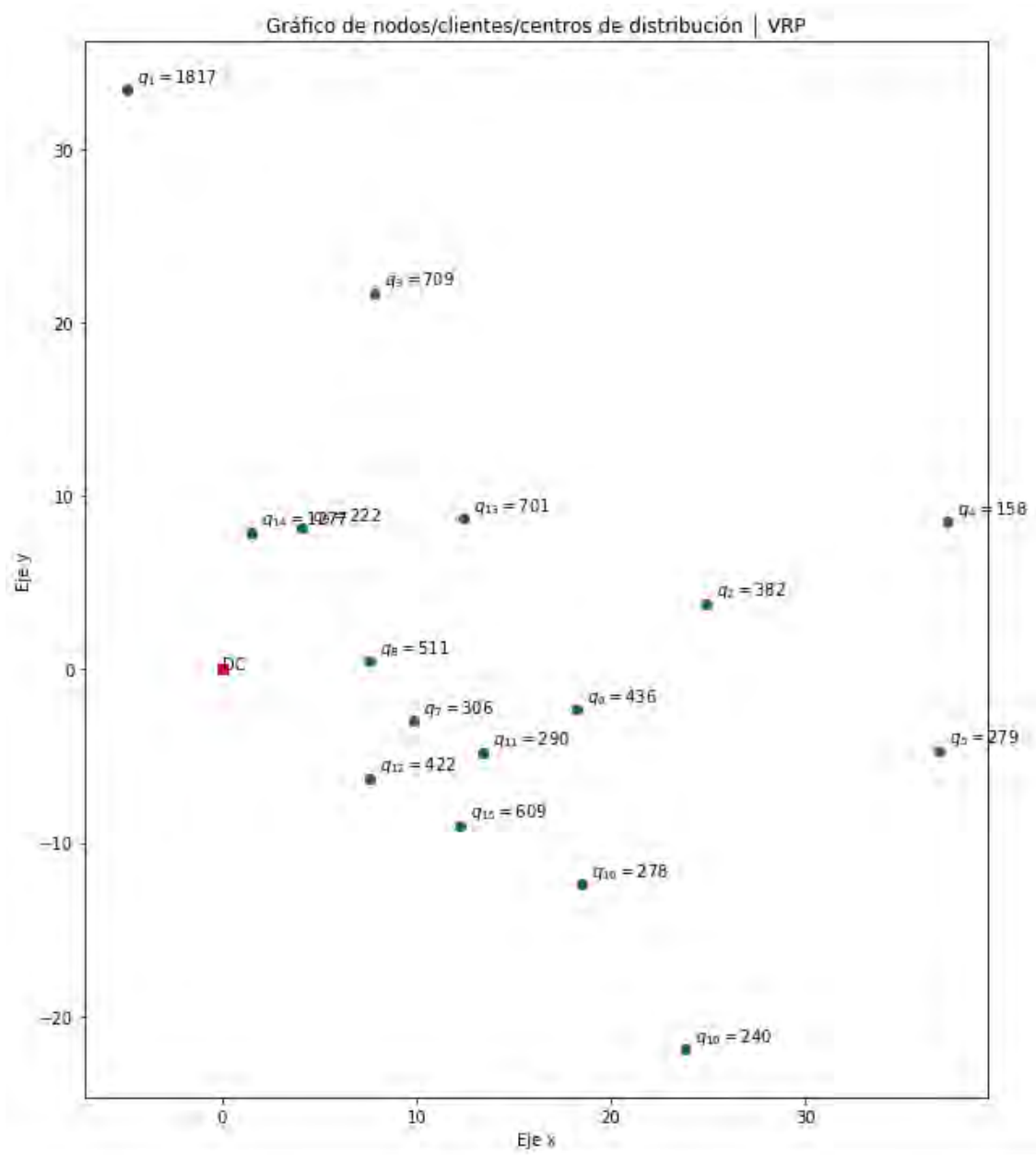
Las coordenadas X e Y para cada uno de los 16 centros de distribución propuestos se muestran en la tabla 4.22.

Tabla 4.22 Coordenadas cartesianas de 16 centros de distribución propuestos

N°	Ubicación del centro de distribución	Este	Norte	X	Y	Elevación (m)
0	DC	270 008	8 667 023	0.0	0.0	31
1	Ancón	265 082	8 700 387	-4.9	33.4	46
2	Ate	294 861	8 670 776	24.9	3.8	422
3	Carabayllo	277 998	8 688 713	8.0	21.7	232
4	Chaclacayo	307 305	8 675 476	37.3	8.5	661
5	Cieneguilla	306 763	8 662 306	36.8	-4.7	355
6	La Molina	288 352	8 664 714	18.3	-2.3	248
7	La Victoria	279 915	8 664 046	9.9	-3.0	142
8	Lima	277 640	8 667 499	7.6	0.5	138
9	Los Olivos	274 074	8 675 104	4.1	8.1	64
10	Pachacámac	293 810	8 645 142	23.8	-21.9	47
11	San Borja	283 456	8 662 177	13.4	-4.8	173
12	San Isidro	277 656	8 660 754	7.6	-6.3	87
13	San Juan de Lurigancho	282 369	8 675 743	12.4	8.7	253
14	San Martín de Porres	271 509	8 674 877	1.5	7.9	40
15	Santiago de Surco	282 270	8 658 042	12.3	-9.0	105
16	Villa María del Triunfo	288 493	8 654 719	18.5	-12.3	185

Fuente: Garmin MapSource

Figura 4.6 Ubicación de los centros de distribución en coordenadas cartesianas – 16 clientes



Para esta segunda corrida se encuentra una solución óptima a los 1172 segundos, que son aproximadamente 20 minutos.

Real time	=	1771.19 sec.	(472603.68 ticks)
Sync time (average)	=	69.37 sec.	
Wait time (average)	=	3.29 sec.	

-----  
 Total (root+branch&cut) = 1771.42 sec. (472616.67 ticks)

### 4.3.3. Con 17 centros de distribución (almacenes o clientes)

Para el modelo se definen las precondiciones discutidas previamente:

N = 17 #clientes  
 Clientes = [x for x in range(1,n+1)] #parte del 1, hasta el 17+1  
 nodos = [0]+clientes  
 Q = 1856 #capacidad volumétrica de los vehículos, son 58  
 vehículos de 32 m<sup>3</sup> cada uno  
 q = #Capacidad volumétrica requerida para satisfacer la  
 demanda de los clientes

Tabla 4.23 Capacidad volumétrica requerida para satisfacer la demanda de los clientes  
 - 17 almacenes

N°	Ubicación	Abastece a	q (m <sup>3</sup> )
1	Ancón	Ancón San Juan de Lurigancho	1817
2	Ate	Ate	382
3	Carabaylo	Carabaylo Comas Puente Piedra	709
4	Chaclacayo	Chaclacayo Lurigancho	158
5	Cieneguilla	Cieneguilla Villa María del Triunfo	279
6	La Molina	Chorrillos La Molina Santa Anita	436
7	La Victoria	Breña La Victoria	306
8	Lima	Lima Pueblo Libre	462
9	Los Olivos	Los Olivos	222
10	Pachacámac	San Juan de Miraflores	240
11	San Borja	San Borja San Luis	290
12	San Isidro	Jesús María Lince Magdalena del Mar Miraflores San Isidro Surquillo	422
13	San Juan de Lurigancho	El Agustino Rímac	701

Tabla 4.23 (Continuación)

N°	Ubicación	Abastece a	q (m <sup>3</sup> )
14	San Martín de Porres	Independencia San Martín de Porres	1277
15	San Miguel	San Miguel	48
16	Santiago de Surco	Barranco Santiago de Surco	609
17	Villa María del Triunfo	Villa El Salvador	278

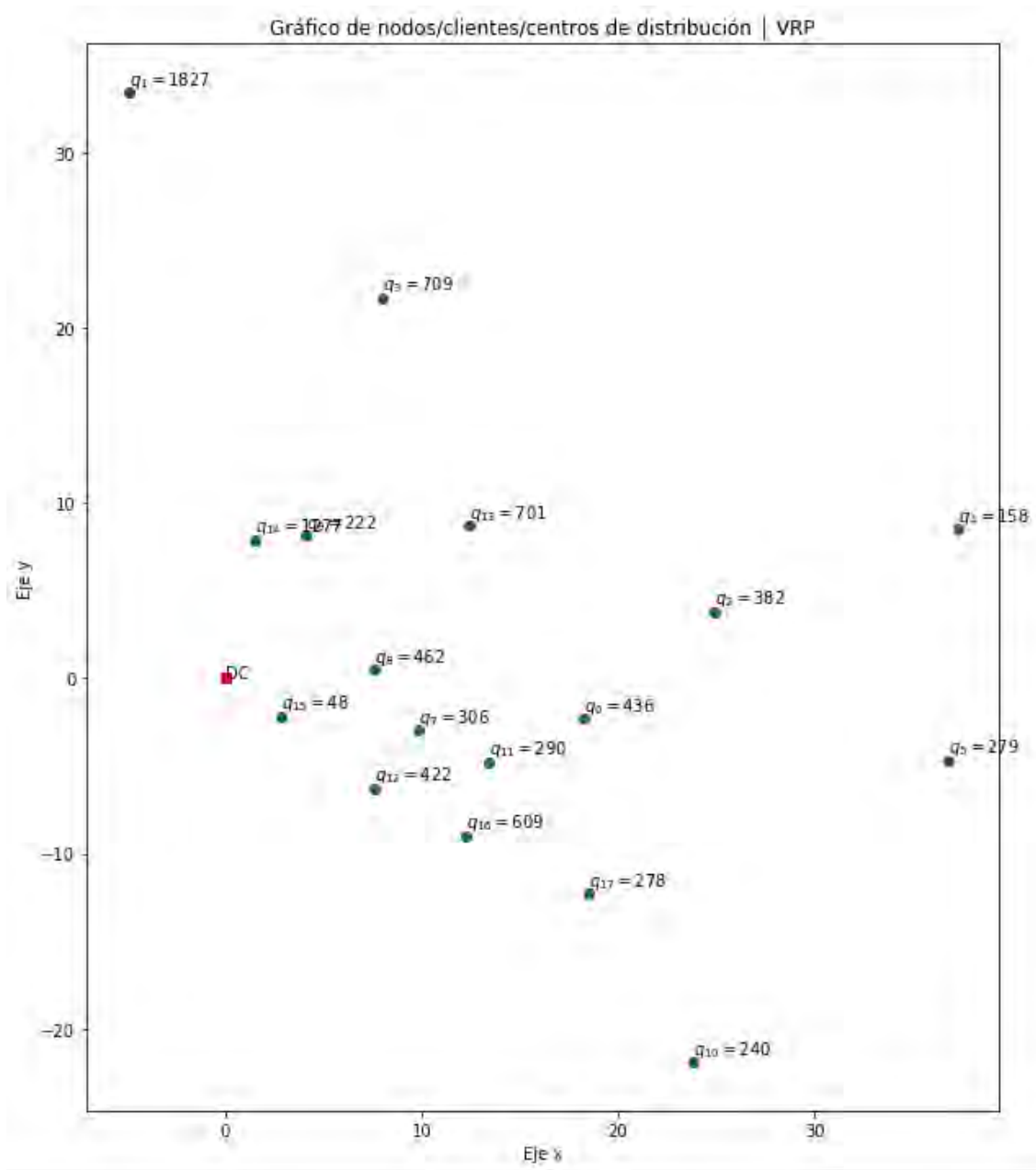
Las coordenadas X e Y para cada uno de los 17 centros de distribución propuestos se muestran en la tabla 4.24

Tabla 4.24 Coordenadas cartesianas de centros de distribución propuestos

N°	Ubicación del centro de distribución	Este	Norte	X	Y	Elevación (m)
0	DC	270 008	8 667 023	0.0	0.0	31
1	Ancón	265 082	8 700 387	-4.9	33.4	46
2	Ate	294 861	8 670 776	24.9	3.8	422
3	Carabayllo	277 998	8 688 713	8.0	21.7	232
4	Chaclacayo	307 305	8 675 476	37.3	8.5	661
5	Cieneguilla	306 763	8 662 306	36.8	-4.7	355
6	La Molina	288 352	8 664 714	18.3	-2.3	248
7	La Victoria	279 915	8 664 046	9.9	-3.0	142
8	Lima	277 640	8 667 499	7.6	0.5	138
9	Los Olivos	274 074	8 675 104	4.1	8.1	64
10	Pachacámac	293 810	8 645 142	23.8	-21.9	47
11	San Borja	283 456	8 662 177	13.4	-4.8	173
12	San Isidro	277 656	8 660 754	7.6	-6.3	87
13	San Juan de Lurigancho	282 369	8 675 743	12.4	8.7	253
14	San Martín de Porres	271 509	8 674 877	1.5	7.9	40
15	San Miguel	272 865	8 664 835	2.9	-2.2	61
16	Santiago de Surco	282 270	8 658 042	12.3	-9.0	105
17	Villa María del Triunfo	288 493	8 654 719	18.5	-12.3	185

Fuente: Garmin MapSource

Figura 4.7 Ubicación de los centros de distribución en coordenadas cartesianas – 17 clientes



Para la tercera corrida se encuentra una solución óptima a los 2387 segundos, que son aproximadamente 40 minutos.

Real time = 2385.25 sec. (404968.27 ticks)

Sync time (average) = 165.40 sec.

Wait time (average) = 0.00 sec.

-----

Total (root+branch&cut) = 2386.53 sec. (404968.33 ticks)

#### 4.3.4. Con 18 centros de distribución (almacenes o clientes)

Para el modelo se definen las precondiciones discutidas previamente:

N = 18 #clientes  
 Clientes = [x for x in range(1,n+1)] #parte del 1, hasta el 18+1  
 nodos = [0]+clientes  
 Q = 2272 #capacidad volumétrica de los vehículos, son 71  
 vehículos de 32 m<sup>3</sup> cada uno  
 q = #Capacidad volumétrica requerida para satisfacer la  
 demanda de los clientes

Tabla 4.25 Capacidad volumétrica requerida para satisfacer la demanda de los clientes  
 - 18 almacenes

N°	Ubicación	Abastece a	q (m <sup>3</sup> )
1	Ancón	Ancón San Juan de Lurigancho	1817
2	Ate	Ate	382
3	Breña	Jesús María Magdalena del Mar	128
4	Carabaylo	Carabaylo Comas Puente Piedra	709
5	Chaclacayo	Chaclacayo Lurigancho	158
6	Cieneguilla	Cieneguilla	10
7	El Agustino	El Agustino	444
8	Independencia	Independencia	127
9	La Molina	La Molina Santa Anita	241
10	La Victoria	Breña Lince San Luis	105
11	Miraflores	Miraflores	129
12	Rímac	Rímac	257
13	San Borja	San Borja	256
14	San Isidro	San Isidro	84
15	San Martín de Porres	Los Olivos	222
16	San Miguel	Lima Pueblo Libre San Miguel	511

Tabla 4.25 (Continuación)

N°	Ubicación	Abastece a	q (m <sup>3</sup> )
17	Santiago de Surco	San Martín de Porres Barranco Chorrillos La Victoria Santiago de Surco Surquillo	2 268
18	Villa María del Triunfo	San Juan de Miraflores Villa El Salvador Villa María del Triunfo	788

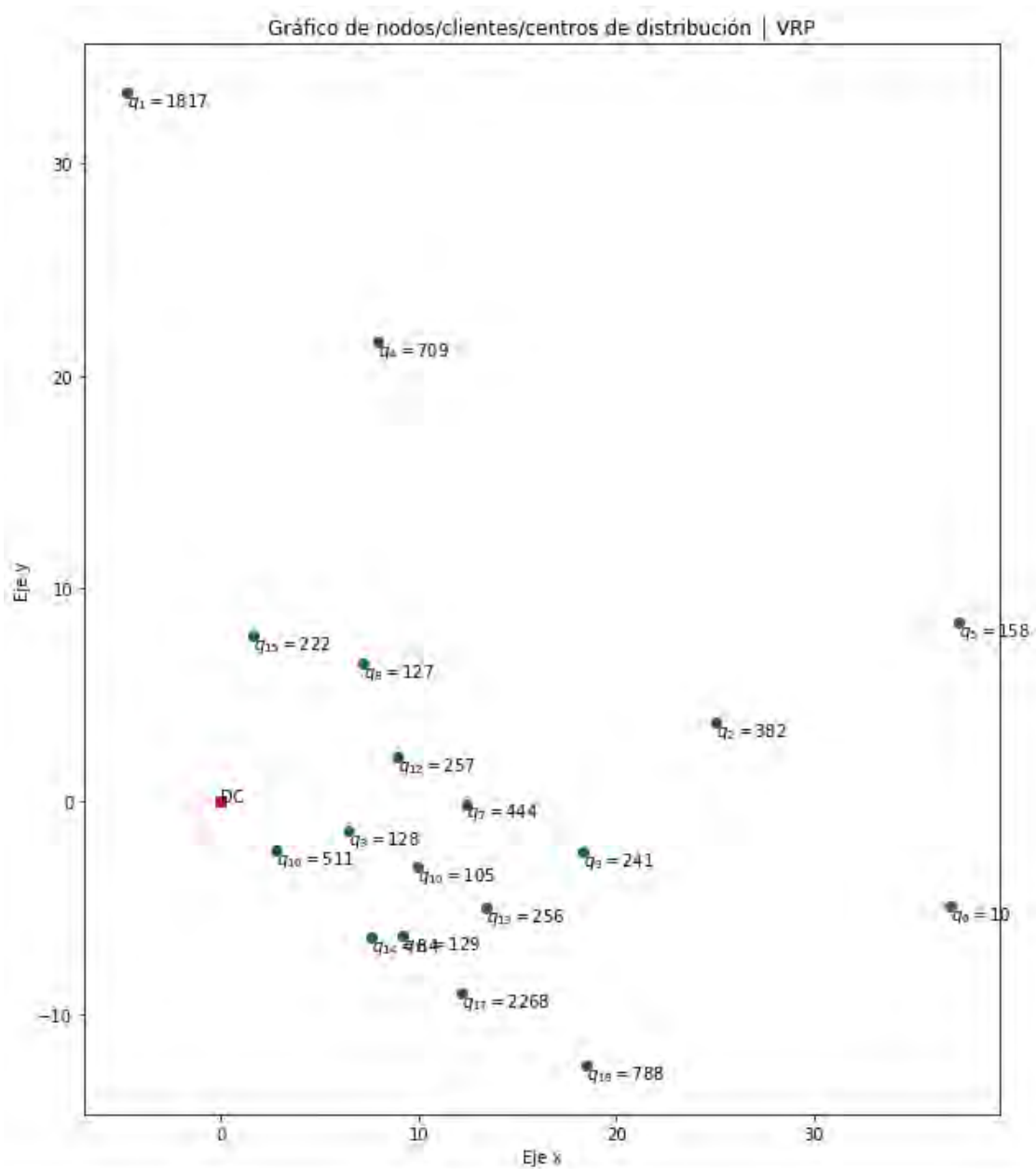
Las coordenadas X e Y para cada uno de los 18 centros de distribución propuestos se muestran en la tabla 4.26

Tabla 4.26 Coordenadas cartesianas de los 18 centros de distribución propuestos

N°	Ubicación del centro de distribución	Este	Norte	X	Y	Elevación (m)
0	DC	270 019	8 667 111	0.0	0.0	34
1	Ancón	265 174	8 700 401	-4.8	33.3	50
2	Ate	294 973	8 670 825	25.0	3.7	426
3	Breña	276 421	8 665 716	6.4	-1.4	115
4	Carabaylo	277 941	8 688 700	7.9	21.6	232
5	Chaclacayo	307 350	8 675 468	37.3	8.4	661
6	Cieneguilla	306 877	8 662 185	36.9	-4.9	359
7	El Agustino	282 386	8 667 053	12.4	-0.1	200
8	Independencia	277 205	8 673 618	7.2	6.5	157
9	La Molina	288 329	8 664 714	18.3	-2.4	248
10	La Victoria	279 903	8 664 025	9.9	-3.1	142
11	Miraflores	279 176	8 660 791	9.2	-6.3	107
12	Rímac	278 891	8 669 177	8.9	2.1	144
13	San Borja	283 453	8 662 147	13.4	-5.0	172
14	San Isidro	277 653	8 660 727	7.6	-6.4	87
15	San Martín de Porres	271 578	8 674 893	1.6	7.8	41
16	San Miguel	272 806	8 664 790	2.8	-2.3	60
17	Santiago de Surco	282 263	8 658 075	12.2	-9.0	105
18	Villa María del Triunfo	288 474	8 654 673	18.5	-12.4	184

Fuente: Garmin MapSource

Figura 4.8 Ubicación de los CD en coordenadas cartesianas – 18 clientes



Para la cuarta corrida se encuentra una solución óptima a los 2727 segundos, que son aproximadamente 46 minutos.

Real time = 2725.88 sec. (663023.27 ticks)  
 Sync time (average) = 92.43 sec.  
 Wait time (average) = 4.19 sec.

-----  
 Total (root+branch&cut) = 2726.16 sec. (663041.70 ticks)

#### 4.3.5. Con 19 centros de distribución (almacenes o clientes)

Para el modelo se definen las precondiciones discutidas previamente:

N = 19 #clientes  
 Clientes = [x for x in range(1,n+1)] #parte del 1, hasta el 19+1  
 nodos = [0]+clientes  
 Q = 2272 #capacidad volumétrica de los vehículos, son 71  
 vehículos de 32 m<sup>3</sup> cada uno  
 q = #Capacidad volumétrica requerida para satisfacer la  
 demanda de los clientes

Tabla 4.27 Capacidad volumétrica requerida para satisfacer la demanda de los clientes  
- 19 almacenes

N°	Ubicación	Abastece a	q (m <sup>3</sup> )
1	Ancón	Ancón San Juan de Lurigancho	1817
2	Ate	Ate	382
3	Breña	Jesús María Magdalena del Mar	128
4	Carabaylo	Carabaylo Comas Puente Piedra	709
5	Chaclacayo	Chaclacayo Lurigancho	158
6	Cieneguilla	Cieneguilla	10
7	El Agustino	El Agustino	444
8	Independencia	Independencia	127
9	La Molina	La Molina Santa Anita	241
10	La Victoria	Breña Lince San Luis	105
11	Miraflores	Miraflores	129
12	Pueblo Libre	Pueblo Libre	44
13	Rímac	Rímac	257
14	San Borja	San Borja	256
15	San Isidro	San Isidro	84
16	San Martín de Porres	Los Olivos	222
17	San Miguel	Lima San Miguel	467
18	Santiago de Surco	San Martín de Porres Barranco Chorrillos La Victoria Santiago de Surco Surquillo	2268
19	Villa María del Triunfo	San Juan de Miraflores Villa El Salvador Villa María del Triunfo	788

Las coordenadas X e Y para cada uno de los 19 centros de distribución propuestos se muestran en la tabla 4.28

Tabla 4.28 Coordenadas cartesianas de los 19 centros de distribución propuestos

Nº	Ubicación del centro de distribución	Este	Norte	X	Y	Elevación (m)
0	DC	270 019	8 667 111	0.0	0.0	34
1	Ancón	265 174	8 700 401	-4.8	33.3	50
2	Ate	294 973	8 670 825	25.0	3.7	426
3	Breña	276 421	8 665 716	6.4	-1.4	115
4	Carabaylo	277 941	8 688 700	7.9	21.6	232
5	Chaclacayo	307 350	8 675 468	37.3	8.4	661
6	Cieneguilla	306 877	8 662 185	36.9	-4.9	359
7	El Agustino	282 386	8 667 053	12.4	-0.1	200
8	Independencia	277 205	8 673 618	7.2	6.5	157
9	La Molina	288 329	8 664 714	18.3	-2.4	248
10	La Victoria	279 903	8 664 025	9.9	-3.1	142
11	Miraflores	279 176	8 660 791	9.2	-6.3	107
12	Pueblo Libre	275 607	8 662 688	5.6	-4.4	80
13	Rímac	278 891	8 669 177	8.9	2.1	144
14	San Borja	283 453	8 662 147	13.4	-5.0	172
15	San Isidro	277 653	8 660 727	7.6	-6.4	87
16	San Martín de Porres	271 578	8 674 893	1.6	7.8	41
17	San Miguel	272 806	8 664 790	2.8	-2.3	60
18	Santiago de Surco	282 263	8 658 075	12.2	-9.0	105
19	Villa María del Triunfo	288 474	8 654 673	18.5	-12.4	184

Fuente: Garmin MapSource

Para la quinta corrida se encuentra una solución óptima a los 5318 segundos, que son aproximadamente 89 minutos.

Real time = 5317.72 sec. (1089259.73 ticks)

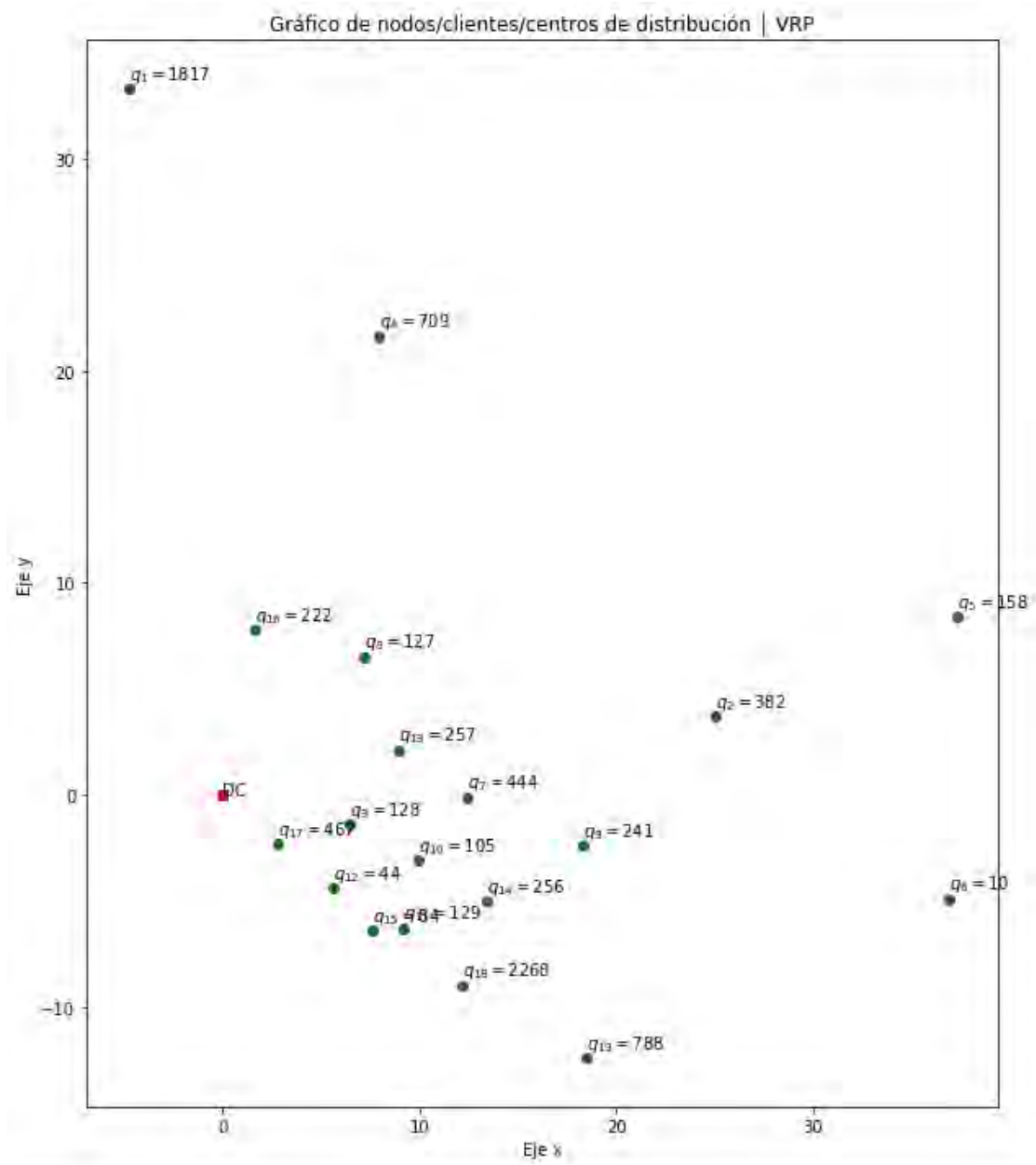
Sync time (average) = 150.00 sec.

Wait time (average) = 6.18 sec.

-----

Total (root+branch&cut) = 5318.50 sec. (1089278.05 ticks)

Figura 4.9 Ubicación de los CD en coordenadas cartesianas – 19 clientes



#### 4.3.6. Con 29 centros de distribución (almacenes o clientes)

$N = 29$  #clientes  
 Clientes = [x for x in range(1,n+1)] #parte de k 1, hasta el 11+1  
 Nodos = [0]+clientes  
 $Q = 1824$  #capacidad volumétrica de los vehículos, son 57 vehículos de  $32 \text{ m}^3$  cada uno  
 $q =$  #Capacidad volumétrica requerida para satisfacer la demanda de los clientes

Tabla 4.29 Capacidad volumétrica requerida para satisfacer la demanda de los clientes  
- 29 almacenes

N°	Ubicación	Abastece a	q (m <sup>3</sup> )
1	Ancón	Ancón	24
2	Ate	Ate	383
3	Barranco	Barranco	46
4	San Miguel	San Miguel	49
5	Breña	Breña La Victoria	306
6	Carabaylo	Carabaylo	184
7	Chaclacayo	Chaclacayo	26
8	Cieneguilla	Cieneguilla	10
9	Comas	Comas	311
10	El Agustino	El Agustino Santa Anita	582
11	Independencia	Independencia	128
12	Jesús María	Jesús María Magdalena del Mar	128
13	La Molina	Chorrillos La Molina	298
14	La Victoria	San Luis	34
15	Lima	Lima	419
16	Lince	Lince	29
17	Los Olivos	Los Olivos	223
18	Lurigancho	Lurigancho	133
19	Miraflores	Miraflores	129
20	Pueblo Libre	Pueblo Libre	44
21	Rímac	Rímac	257
22	San Borja	San Borja	257
23	San Isidro	San Isidro	85
24	San Juan de Lurigancho	San Juan de Lurigancho	1794
25	San Martín de Porres	San Martín de Porres	1150
26	Santiago de Surco	Santiago de Surco	564
27	Surquillo	Surquillo	53
28	Ventanilla/Puente Piedra	Puente Piedra	216
29	Villa María del Triunfo	San Juan de Miraflores Villa El Salvador Villa María del Triunfo	788

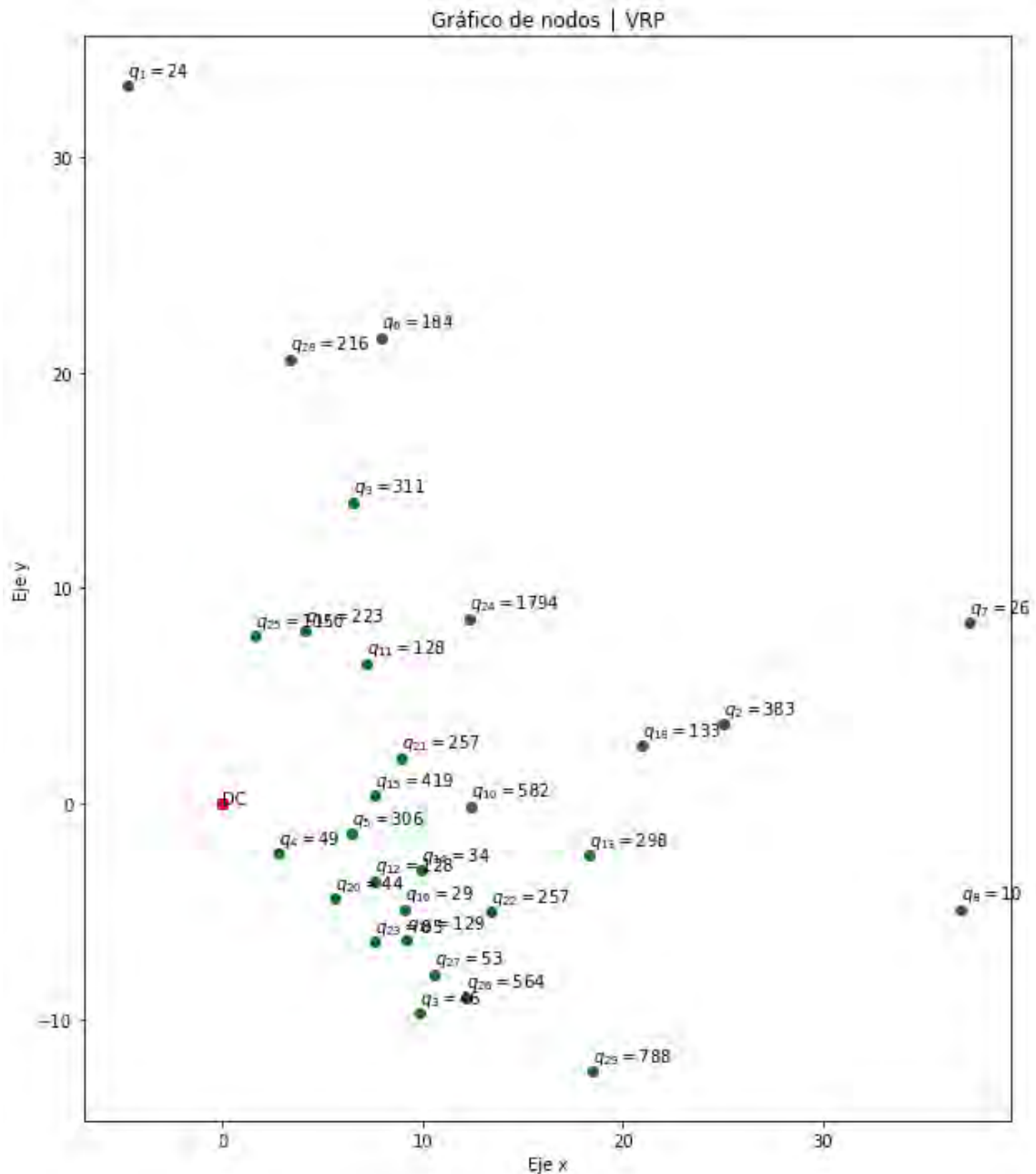
Las coordenadas X e Y para cada uno de los 29 centros de distribución propuestos se muestran en la tabla 4.30

Tabla 4.30 Coordenadas cartesianas de centros de distribución propuestos

Nº	Ubicación del centro de distribución	Este	Norte	X	Y	Elevación (m)
0	DC	270 019	8 667 111	0.0	0.0	34
1	Ancón	265 174	8 700 401	-4.8	33.3	50
2	Ate	294 973	8 670 825	25.0	3.7	426
3	Barranco	279 799	8 657 375	9.8	-9.7	76
4	San Miguel	272 806	8 664 790	2.8	-2.3	60
5	Breña	276 421	8 665 716	6.4	-1.4	115
6	Carabayllo	277 941	8 688 700	7.9	21.6	232
7	Chaclacayo	307 350	8 675 468	37.3	8.4	661
8	Cieneguilla	306 877	8 662 185	36.9	-4.9	359
9	Comas	276 494	8 681 061	6.5	14.0	134
10	El Agustino	282 386	8 667 053	12.4	-0.1	200
11	Independencia	277 205	8 673 618	7.2	6.5	157
12	Jesús María	277 653	8 663 537	7.6	-3.6	110
13	La Molina	288 329	8 664 714	18.3	-2.4	248
14	La Victoria	279 903	8 664 025	9.9	-3.1	142
15	Lima	277 652	8 667 502	7.6	0.4	138
16	Lince	279 133	8 662 245	9.1	-4.9	119
17	Los Olivos	274 096	8 675 082	4.1	8.0	65
18	Lurigancho	291 044	8 669 801	21.0	2.7	359
19	Miraflores	279 176	8 660 791	9.2	-6.3	107
20	Pueblo Libre	275 607	8 662 688	5.6	-4.4	80
21	Rímac	278 891	8 669 177	8.9	2.1	144
22	San Borja	283 453	8 662 147	13.4	-5.0	172
23	San Isidro	277 653	8 660 727	7.6	-6.4	87
24	San Juan de Lurigancho	282 355	8 675 735	12.3	8.6	253
25	San Martín de Porres	271 578	8 674 893	1.6	7.8	41
26	Santiago de Surco	282 263	8 658 075	12.2	-9.0	105
27	Surquillo	280 611	8 659 191	10.6	-7.9	105
28	Ventanilla/Puente Piedra	273 382	8 687 739	3.4	20.6	190
29	Villa María del Triunfo	288 474	8 654 673	18.5	-12.4	184

Fuente: Garmin MapSource

Figura 4.10 Ubicación de los CD en coordenadas cartesianas – 29 clientes



La función objetivo generada para el modelo es:

Minimize

$$\begin{aligned}
 \text{obj: } & 32.922029099070 \ x_7_3 + 12.839003076563 \ x_{20_25} + 9.077997798511 \\
 & x_{16_9} + 4.609772228646 \ x_{6_28} + 19.300259065619 \ x_{21_28} + \\
 & 7.547184905645 \ x_{19_4} + 12.490396310766 \ x_{17_20} + 35.705041660808 \\
 & x_7_25 + 4.396589587396 \ x_{22_19} + 34.186693317722 \ x_{20_7} + \dots \\
 & \dots + 7.093659140387 \ x_{12_26} + 14.849915824677 \ x_{27_18} + 43.984088031924 \\
 & x_{1_27} + 15.170036255725 \ x_{25_6} + 9.462557793747 \ x_{13_27} +
 \end{aligned}$$

```

19.300259065619 x_28_21 + 25.272316870441 x_2_0 + 9.560334722174
x_26_5 + 21.896118377466 x_29_24 + 9.109335870413 x_3_29 +
26.470549673175 x_27_8

#Se definen arcos y distancia
Arcos      ={(i,j) for i in nodos for j in nodos if i!=j}
distancia  ={(i,j):np.hypot(loc_x[i]-loc_x[j],loc_y[i]-loc_y[j]) for
            i in nodos for j in nodos if i!=j}

#Variables de decisión
x=mdl.binary_var_dict(arcos,name="x")
u=mdl.continuous_var_dict(nodos,ub=Q,name="u")

#Función objetivo
mdl.minimize(mdl.sum(distancia[i,j]*x[i,j] for i,j in arcos))

#Restricciones
1) mdl.add_constraints(mdl.sum(x[i,j] for j in nodos if i!=j)==1 for
    i in clientes)
2) mdl.add_constraints(mdl.sum(x[i,j] for i in nodos if i!=j)==1 for
    j in clientes)
MTZ)mdl.add_indicator_constraints(mdl.indicator_constraint(x[i,j],u[i]
+q[j]==u[j])for i,j in arcos if i!=0 and j!=0)
MTZ2) mdl.add_constraints(u[i]>=q[i] for i in clientes)

```

Para esta corrida no se encuentra una solución óptima después de 19 horas de procesamiento, por lo que se decidió interrumpirla.

## CAPÍTULO 5. Análisis de resultados

### 5.1. Corridas realizadas

#### 5.1.1. Con 15 centros de atención

Se obtiene una solución óptima, verificada en `<JobSolveStatus.OPTIMAL_SOLUTION: 2>`, después de 1019 segundos de procesamiento con la siguiente solución en km:

solution for: Ruteo Bienes de Ayuda Humanitaria Alimentaria  
objective: 274.896

x\_9\_0 = 1

x\_10\_7 = 1

x\_4\_5 = 1

x\_0\_1 = 1

x\_15\_0 = 1

x\_0\_11 = 1

x\_1\_0 = 1

x\_8\_0 = 1

x\_6\_2 = 1

x\_11\_14 = 1

x\_12\_3 = 1

x\_14\_10 = 1

x\_0\_12 = 1

x\_3\_9 = 1

x\_7\_0 = 1

x\_0\_6 = 1

x\_2\_4 = 1

x\_13\_8 = 1

x\_5\_15 = 1

x\_0\_13 = 1

u\_1 = 1817.000

u\_2 = 868.000

u\_3 = 1602.000

u\_4 = 1026.000

u\_5 = 1305.000

u\_6 = 486.000

u\_7 = 1627.000

u\_8 = 1824.000

u\_9 = 1824.000

u\_10 = 1321.000

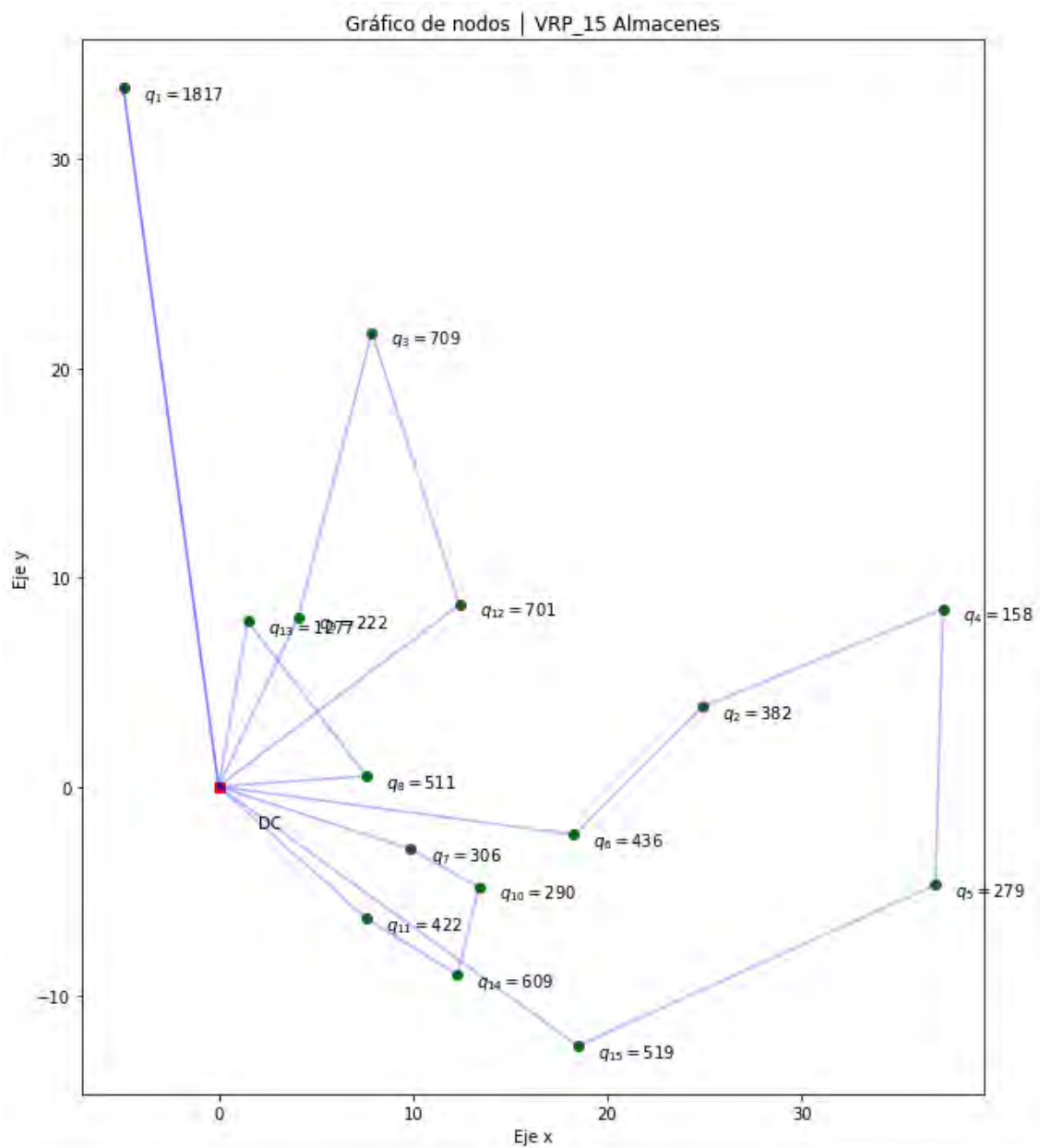
u\_11 = 422.000

u\_12 = 893.000

$u_{13} = 1313.000$   
 $u_{14} = 1031.000$   
 $u_{15} = 1824.000$

Con los siguientes arcos activos [(9, 0), (10, 7), (4, 5), (0, 1), (15, 0), (0, 11), (1, 0), (8, 0), (6, 2), (11, 14), (12, 3), (14, 10), (0, 12), (3, 9), (7, 0), (0, 6), (2, 4), (13, 8), (5, 15), (0, 13)] que gráficamente se muestran en la figura 5.1.

Figura 5.1 Solución óptima - 15 centros de distribución



{1: Ancón ; 2 : Ate ; 3 : Carabayllo ; 4 : Chaclacayo ; 5 : Cieneguilla ; 6 : La Molina ; 7 : La Victoria ; 8 : Lima ; 9 : Los Olivos ; 10 : San Borja ; 11 : San Isidro ; 12 : San Juan de Lurigancho ; 13 : San Martín de Porres ; 14 : Santiago de Surco ; 15 : Villa María del Triunfo}

En el escenario en que se distribuyen bienes de ayuda humanitaria alimentaria a 15 almacenes, se obtiene la solución recorriendo 275 km, satisfaciendo la demanda de todos los nodos.

### 5.1.2. Con 16 centros de atención

Se obtiene una solución óptima, verificada en `<JobSolveStatus.OPTIMAL_SOLUTION: 2>`, después de 1172 segundos de procesamiento con la siguiente solución en km:

```
solution for: Ruteo Bienes de Ayuda Humanitaria Alimentaria
objective: 287.449
```

```
x_9_0 = 1
```

```
x_15_11 = 1
```

```
x_4_5 = 1
```

```
x_16_0 = 1
```

```
x_0_1 = 1
```

```
x_14_8 = 1
```

```
x_0_14 = 1
```

```
x_13_3 = 1
```

```
x_1_0 = 1
```

```
x_5_10 = 1
```

```
x_8_0 = 1
```

```
x_6_2 = 1
```

```
x_0_12 = 1
```

```
x_3_9 = 1
```

```
x_11_7 = 1
```

```
x_7_0 = 1
```

```
x_10_16 = 1
```

```
x_0_6 = 1
```

```
x_2_4 = 1
```

```
x_12_15 = 1
```

```
x_0_13 = 1
```

```
u_1 = 1817.000
```

```
u_2 = 818.000
```

```
u_3 = 1410.000
```

```
u_4 = 976.000
```

```
u_5 = 1255.000
```

```
u_6 = 436.000
```

```
u_7 = 1627.000
```

```
u_8 = 1824.000
```

```
u_9 = 1632.000
```

```
u_10 = 1495.000
```

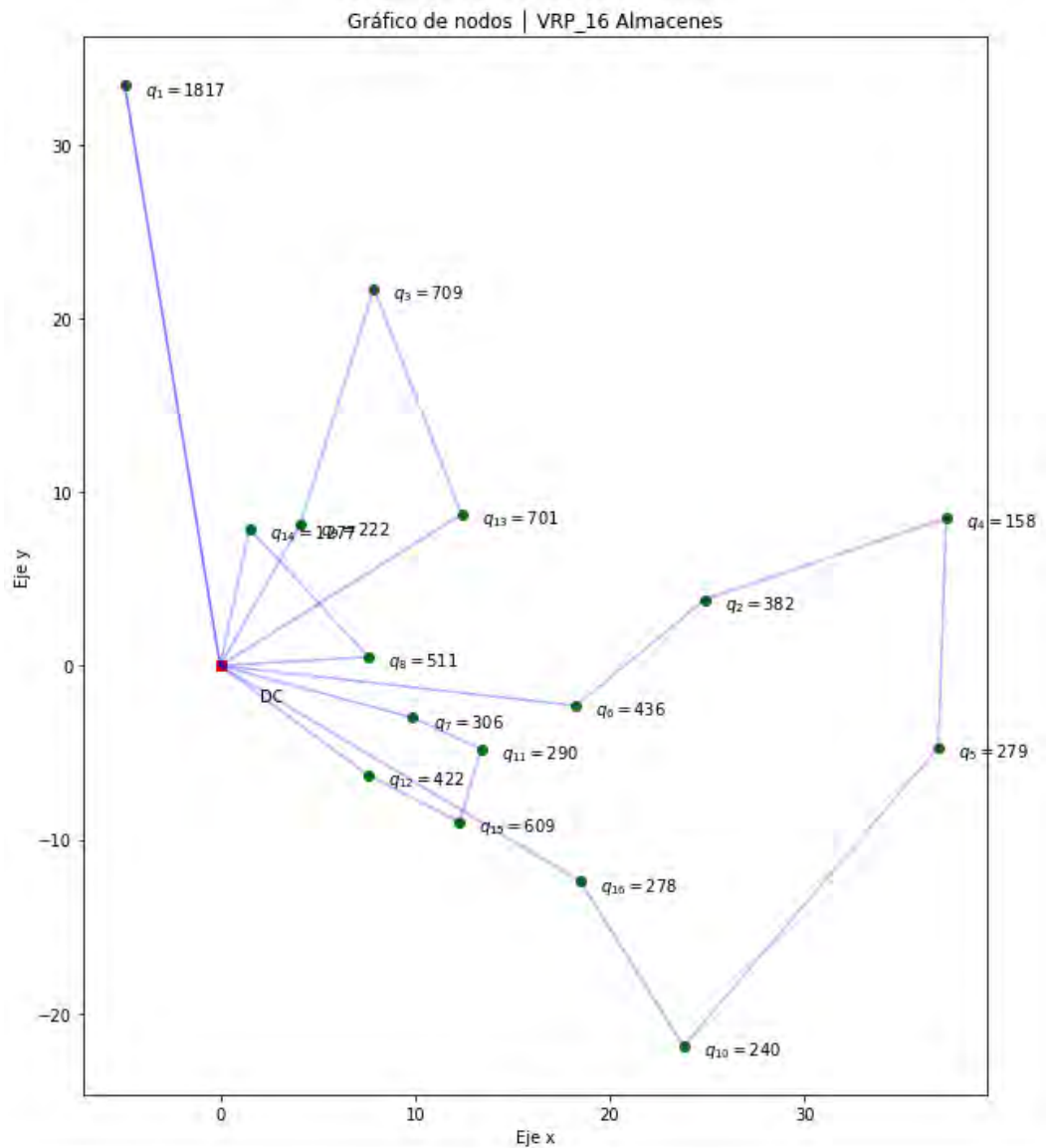
```
u_11 = 1321.000
```



$u_{12} = 422.000$   
 $u_{13} = 701.000$   
 $u_{14} = 1313.000$   
 $u_{15} = 1031.000$   
 $u_{16} = 1773.000$

Con los siguientes arcos activos [(9, 0), (15, 11), (4, 5), (16, 0), (0, 1), (14, 8), (0, 14), (13, 3), (1,0), (5, 10), (8, 0), (6, 2), (0, 12), (3, 9), (11, 7), (7, 0), (10, 16), (0, 6), (2, 4), (12, 15), (0, 13)] que gráficamente se muestran en la figura 5.2.

Figura 5.2 Solución óptima - 16 centros de distribución



{1 : Ancón ; 2 : Ate ; 3 : Carabayllo ; 4 : Chaclacayo ; 5 : Cieneguilla ; 6 : La Molina ; 7 : La Victoria ; 8 : Lima ; 9 : Los Olivos ; 10 : Pachacámac ; 11 : San Borja ; 12 : San Isidro ; 13 : San Juan de Lurigancho ; 14 : San Martín de Porres ; 15 : Santiago de Surco ; 16 : Villa María del Triunfo}

En el escenario en que se distribuyen bienes de ayuda humanitaria alimentaria a 16 almacenes, se obtiene la solución recorriendo 287.4 km, satisfaciendo la demanda de todos los nodos.

### 5.1.3. Con 17 centros de atención

Se obtiene una solución óptima, verificada en `<JobSolveStatus.OPTIMAL_SOLUTION: 2>`, después de 2837 segundos de procesamiento con la siguiente solución en km:

```
solution for: Ruteo Bienes de Ayuda Humanitaria Alimentaria  
objective: 287.424
```

```
x_10_17 = 1
```

```
x_4_5 = 1
```

```
x_9_3 = 1
```

```
x_0_1 = 1
```

```
x_13_0 = 1
```

```
x_1_0 = 1
```

```
x_0_8 = 1
```

```
x_5_10 = 1
```

```
x_6_2 = 1
```

```
x_15_12 = 1
```

```
x_0_15 = 1
```

```
x_16_11 = 1
```

```
x_11_7 = 1
```

```
x_7_0 = 1
```

```
x_17_0 = 1
```

```
x_0_6 = 1
```

```
x_0_9 = 1
```

```
x_2_4 = 1
```

```
x_14_0 = 1
```

```
x_12_16 = 1
```

```
x_8_14 = 1
```

```
x_3_13 = 1
```

```
u_1 = 1827.000
```

```
u_2 = 818.000
```

```
u_3 = 1155.000
```

```
u_4 = 976.000
```

```
u_5 = 1255.000
```

```
u_6 = 436.000
```

```
u_7 = 1675.000
```

```
u_8 = 462.000
```

```
u_9 = 446.000
```

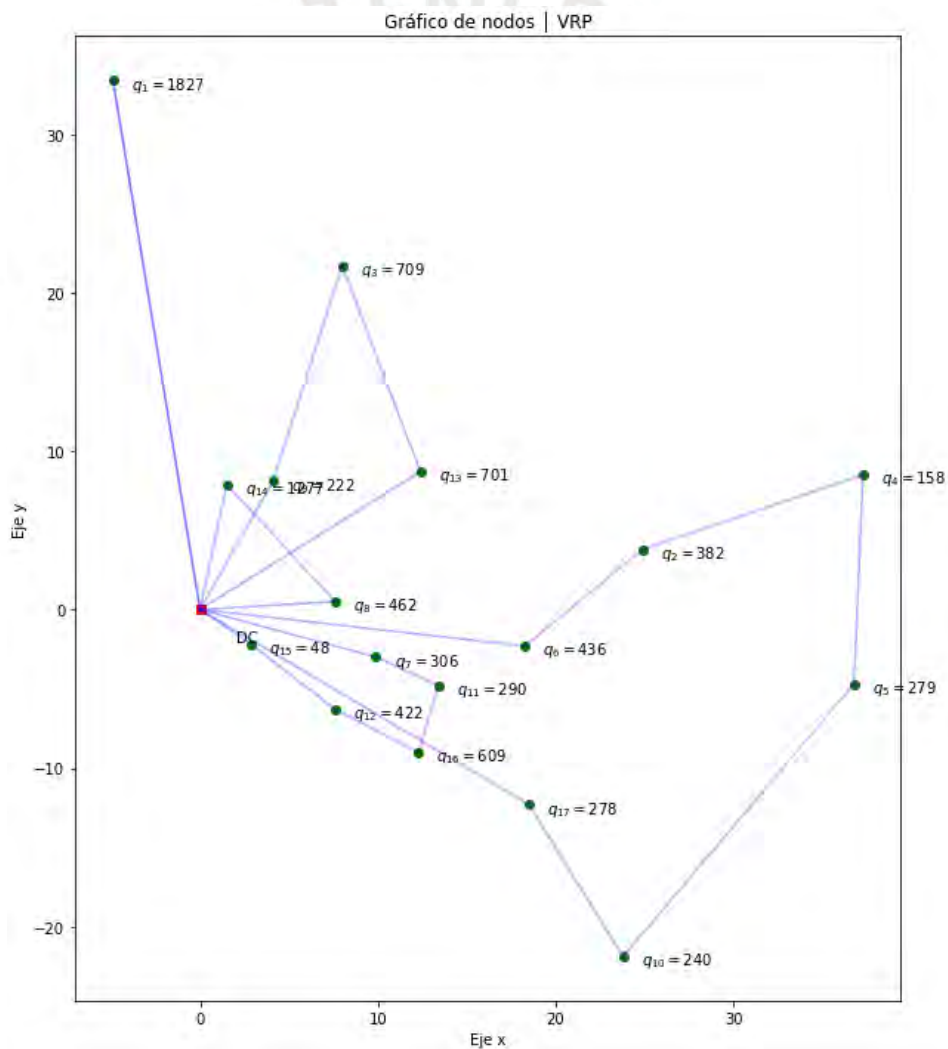
```
u_10 = 1495.000
```



$u_{11} = 1369.000$   
 $u_{12} = 470.000$   
 $u_{13} = 1856.000$   
 $u_{14} = 1739.000$   
 $u_{15} = 48.000$   
 $u_{16} = 1079.000$   
 $u_{17} = 1773.000$

Con los siguientes arcos activos [(10, 17), (4, 5), (9, 3), (0, 1), (13, 0), (1, 0), (0, 8), (5, 10), (6, 2), (15, 12), (0, 15), (16, 11), (11, 7), (7, 0), (17, 0), (0, 6), (0, 9), (2, 4), (14, 0), (12, 16), (8, 14), (3, 13)] que gráficamente se muestran en la figura 5.3.

Figura 5.3 Solución óptima - 17 centros de distribución



{1 : Ancón ; 2 : Ate ; 3 : Carabayllo ; 4 : Chaclacayo ; 5 : Cieneguilla ; 6 : La Molina ; 7 : La Victoria ; 8 : Lima ; 9 : Los Olivos ; 10 : Pachacámac ; 11 : San Borja ; 12 : San Isidro ; 13 : San Juan de Lurigancho ; 14 : San Martín de Porres ; 15 : San Miguel ; 16 : Santiago de Surco ; 17 : Villa María del Triunfo}

En el escenario en que se distribuyen bienes de ayuda humanitaria alimentaria a 17 almacenes, se obtiene la solución recorriendo 287 km, satisfaciendo la demanda de todos los nodos.

#### 5.1.4. Con 18 centros de atención

Se obtiene una solución óptima, verificada en `<JobSolveStatus.OPTIMAL_SOLUTION: 2>`, después de 2837 segundos de procesamiento con la siguiente solución en km:

```
solution for: Ruteo Bienes de Ayuda Humanitaria Alimentaria  
objective: 256.627
```

```
x_7_3 = 1
```

```
x_0_17 = 1
```

```
x_16_0 = 1
```

```
x_8_12 = 1
```

```
x_0_14 = 1
```

```
x_12_7 = 1
```

```
x_1_0 = 1
```

```
x_18_6 = 1
```

```
x_9_13 = 1
```

```
x_4_8 = 1
```

```
x_6_5 = 1
```

```
x_14_11 = 1
```

```
x_5_2 = 1
```

```
x_0_4 = 1
```

```
x_0_15 = 1
```

```
x_3_16 = 1
```

```
x_11_18 = 1
```

```
x_15_1 = 1
```

```
x_13_10 = 1
```

```
x_10_0 = 1
```

```
x_17_0 = 1
```

```
x_2_9 = 1
```

```
u_1 = 2039.000
```

```
u_2 = 1551.000
```

```
u_3 = 1761.000
```

```
u_4 = 805.000
```

```
u_5 = 1169.000
```

```
u_6 = 1011.000
```

```
u_7 = 1633.000
```

```
u_8 = 932.000
```

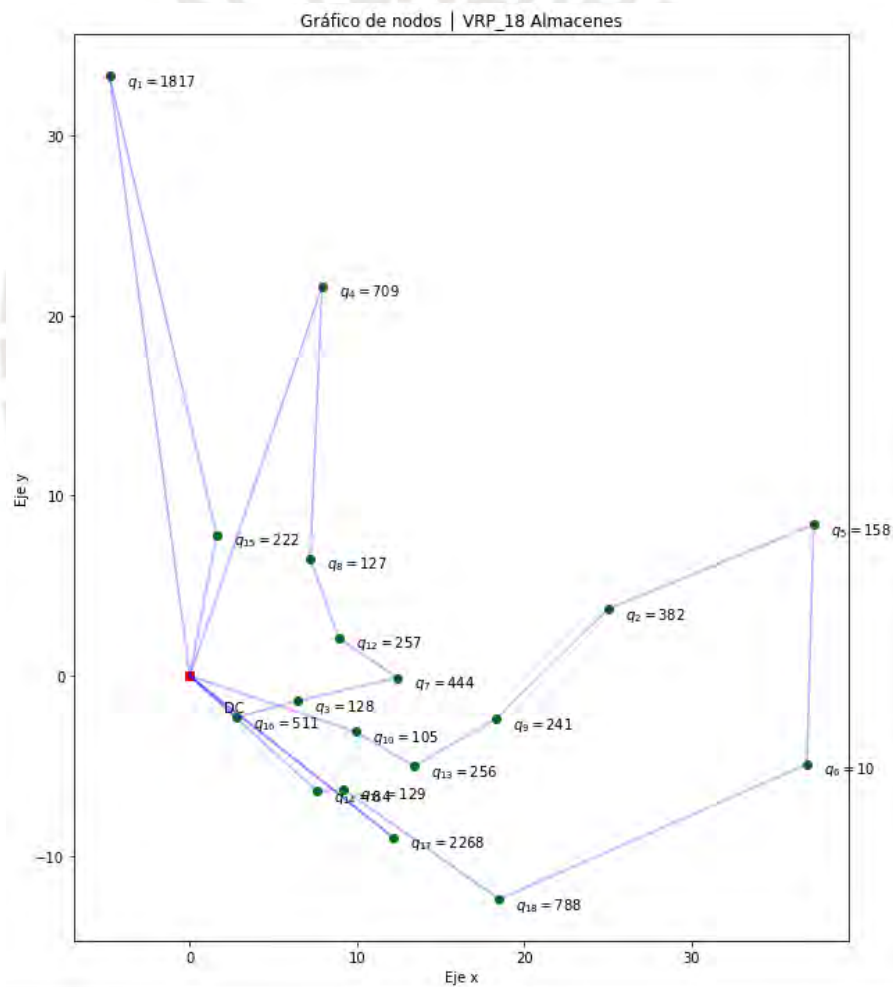
```
u_9 = 1792.000
```

```
u_10 = 2153.000
```

$u_{11} = 213.000$   
 $u_{12} = 1189.000$   
 $u_{13} = 2048.000$   
 $u_{14} = 84.000$   
 $u_{15} = 222.000$   
 $u_{16} = 2272.000$   
 $u_{17} = 2268.000$   
 $u_{18} = 1001.000$

Con los siguientes arcos activos [(7, 3), (0, 17), (16, 0), (8, 12), (0, 14), (12, 7), (1, 0), (18, 6), (9, 13), (4, 8), (6, 5), (14, 11), (5, 2), (0, 4), (0, 15), (3, 16), (11, 18), (15, 1), (13, 10), (10, 0), (17, 0), (2, 9)] que gráficamente se muestran en la figura 5.4.

Figura 5.4 Solución óptima - 18 centros de distribución



{1: Ancón ; 2 : Ate ; 3 : Breña ; 4 : Carabayllo ; 5 : Chaclacayo ; 6 : Cieneguilla ; 7 : El Agustino ; 8 : Independencia ; 9 : La Molina ; 10 : La Victoria ; 11 : Miraflores ; 12 : Rímac ; 13 : San Borja ; 14 : San Isidro ; 15 : San Martín de Porres ; 16 : San Miguel ; 17 : ; 17 : Santiago de Surco ; 18 : Villa María del Triunfo}

En el escenario en que se distribuyen bienes de ayuda humanitaria alimentaria a 18 almacenes, se obtiene la solución recorriendo 257 km, satisfaciendo la demanda de todos los nodos.

### 5.1.5. Con 19 centros de atención

Se obtiene una solución óptima, verificada en `<JobSolveStatus.OPTIMAL_SOLUTION: 2>`, después de 5319 segundos de procesamiento con la siguiente solución en km:

```
solution for: Ruteo Bienes de Ayuda Humanitaria Alimentaria
objective: 256.642
```

```
x_7_3 = 1
```

```
x_16_0 = 1
```

```
x_10_14 = 1
```

```
x_11_15 = 1
```

```
x_3_17 = 1
```

```
x_5_6 = 1
```

```
x_2_5 = 1
```

```
x_1_16 = 1
```

```
x_4_8 = 1
```

```
x_13_7 = 1
```

```
x_0_4 = 1
```

```
x_0_18 = 1
```

```
x_8_13 = 1
```

```
x_14_9 = 1
```

```
x_15_12 = 1
```

```
x_12_0 = 1
```

```
x_6_19 = 1
```

```
x_0_10 = 1
```

```
x_0_1 = 1
```

```
x_18_0 = 1
```

```
x_9_2 = 1
```

```
x_19_11 = 1
```

```
x_17_0 = 1
```

```
u_1 = 2050.000
```

```
u_2 = 984.000
```

```
u_3 = 1805.000
```

```
u_4 = 849.000
```

```
u_5 = 1142.000
```

```
u_6 = 1152.000
```

```
u_7 = 1677.000
```

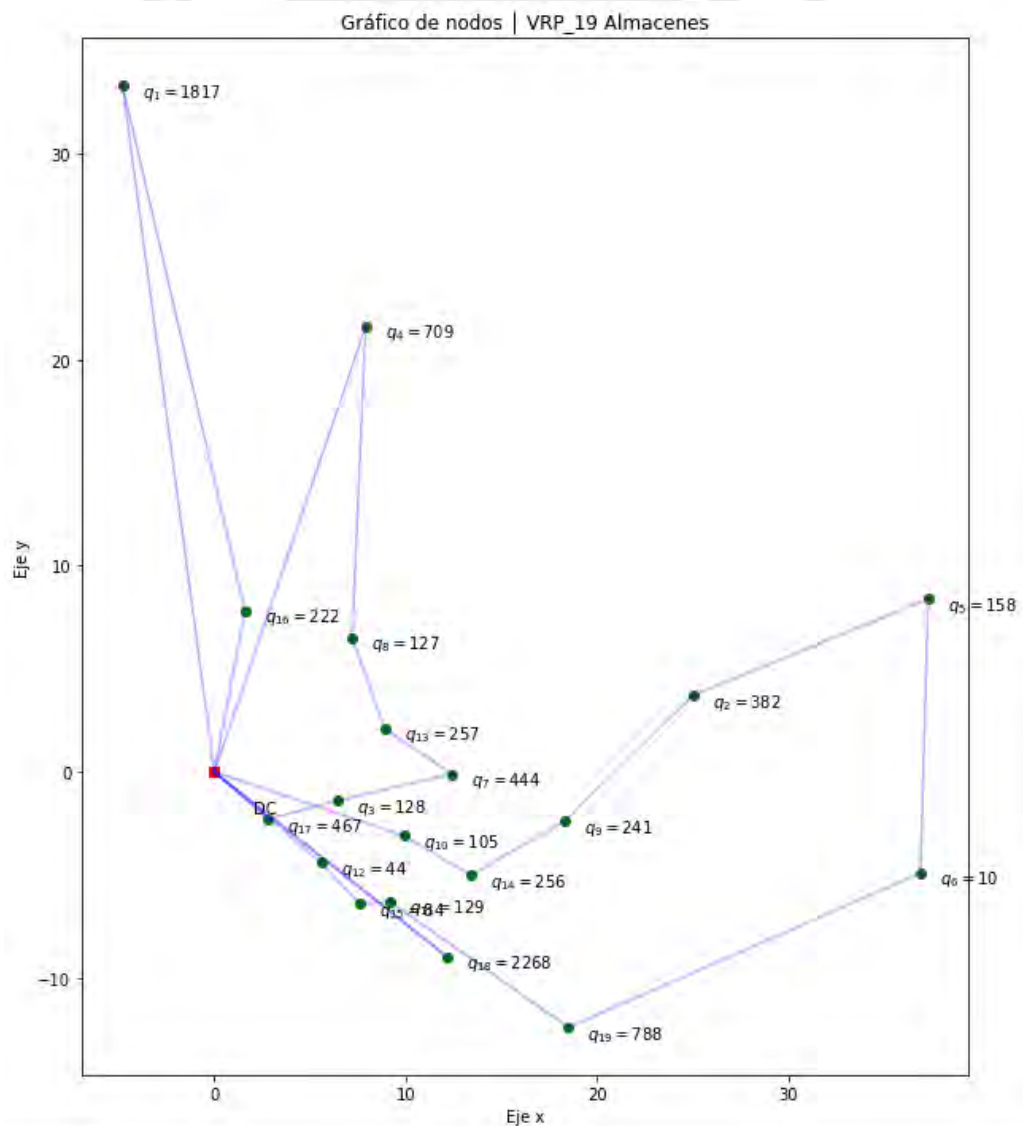
```
u_8 = 976.000
```

```
u_9 = 602.000
```

$u_{10} = 105.000$   
 $u_{11} = 2069.000$   
 $u_{12} = 2197.000$   
 $u_{13} = 1233.000$   
 $u_{14} = 361.000$   
 $u_{15} = 2153.000$   
 $u_{16} = 2272.000$   
 $u_{17} = 2272.000$   
 $u_{18} = 2268.000$   
 $u_{19} = 1940.000$

Con los siguientes arcos activos [(7, 3), (16, 0), (10, 14), (11, 15), (3, 17), (5, 6), (2, 5), (1, 16), (4, 8), (13, 7), (0, 4), (0, 18), (8, 13), (14, 9), (15, 12), (12, 0), (6, 19), (0, 10), (0, 1), (18, 0), (9, 2), (19, 11), (17, 0)] que gráficamente se muestran en la figura 5.5.

Figura 5.5 Solución óptima - 19 centros de distribución



{1 : Ancón ; 2 : Ate ; 3 : Breña ; 4 : Carabayllo ; 5 : Chaclacayo ; 6 : Cieneguilla ; 7 : El Agustino ; 8 : Independencia ; 9 : La Molina ; 10 : La Victoria ; 11 : Miraflores ; 12 : Pueblo Libre ; 13 : Rímac ; 14 : San Borja ; 15 : San Isidro ; 16 : San Martín de Porres ; 17 : San Miguel ; 18 : Santiago de Surco ; 19 : Villa María del Triunfo}

En el escenario en que se distribuyen bienes de ayuda humanitaria alimentaria a 19 almacenes, se obtiene la solución recorriendo 256.6 km, satisfaciendo la demanda de todos los nodos.

### 5.1.6. Con 29 centros de atención

No se obtiene una solución óptima. El modelo corrió por 67 300 segundos, aproximadamente 19 horas sin encontrar una solución óptima. No obstante, se encuentran soluciones factibles dentro de los 10 000 segundos.

Figura 5.6 Tiempo de corrida máximo - 29 CD, sin encontrar óptimo

17797448	12414988	268.9227	22	281.4828	217.5790	2.84e+08	22.70%
17845149	12445097	246.7890	37	281.4828	217.5861	2.85e+08	22.70%
17893111	12475074	229.3073	35	281.4828	217.5930	2.86e+08	22.70%
17940735	12505092	218.1903	42	281.4828	217.6004	2.86e+08	22.69%
17988616	12538316	279.8648	19	281.4828	217.6075	2.87e+08	22.69%
Elapsed time = 65859.88 sec. (5368057.25 ticks, tree = 9314.82 MB, solutions = 13)							
Nodefile size = 7266.33 MB (3571.35 MB after compression)							
18036087	12566541	260.0844	35	281.4828	217.6147	2.88e+08	22.69%
18083400	12595890	235.0010	34	281.4828	217.6218	2.89e+08	22.69%
18130735	12627356	271.5163	30	281.4828	217.6289	2.90e+08	22.68%
18178354	12658411	224.8040	27	281.4828	217.6357	2.90e+08	22.68%
18226356	12686665	256.4037	26	281.4828	217.6428	2.91e+08	22.68%
18274093	12717259	274.8083	22	281.4828	217.6500	2.92e+08	22.68%
18321540	12745497	256.6148	34	281.4828	217.6569	2.93e+08	22.67%
18369097	12776464	245.0045	27	281.4828	217.6636	2.94e+08	22.67%
18416973	12806371	277.2596	24	281.4828	217.6705	2.94e+08	22.67%
18464836	12837381	270.6867	28	281.4828	217.6773	2.95e+08	22.67%
Elapsed time = 67302.70 sec. (5520649.20 ticks, tree = 9536.60 MB, solutions = 13)							
Nodefile size = 7487.25 MB (3672.65 MB after compression)							

Fuente: captura de pantalla

Se obtiene una solución factible, verificada en <JobSolveStatus.FEASIBLE\_SOLUTION: 1> después de 2100 segundos de procesamiento con la siguiente solución en km:

solution for: Ruteo Bienes de Ayuda Humanitaria Alimentaria

objective: 275.804

x\_21\_15 = 1

x\_0\_14 = 1

x\_28\_1 = 1

x\_2\_7 = 1

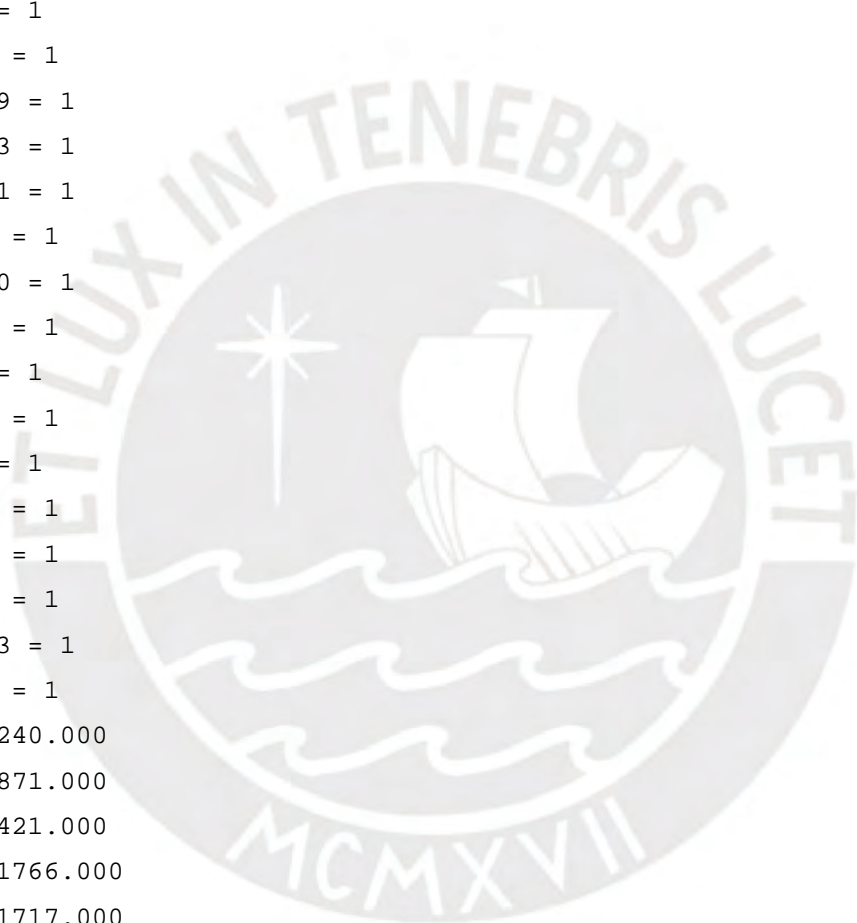
x\_19\_27 = 1

x\_0\_28 = 1

x\_23\_20 = 1

x\_13\_18 = 1

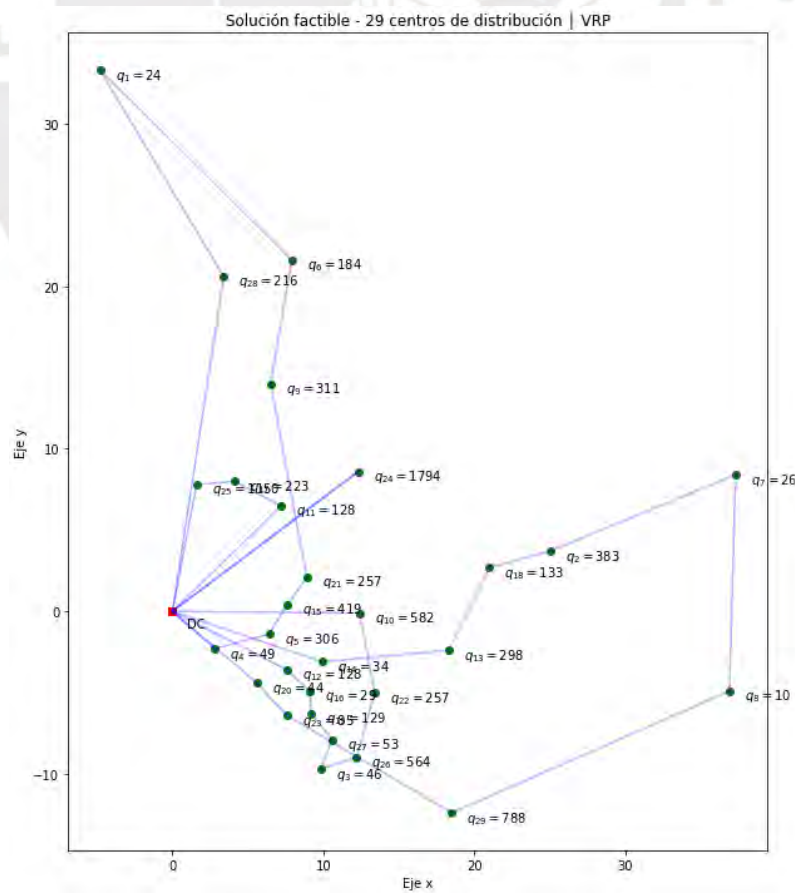
x\_27\_3 = 1  
x\_1\_6 = 1  
x\_5\_4 = 1  
x\_8\_29 = 1  
x\_0\_25 = 1  
x\_3\_26 = 1  
x\_12\_16 = 1  
x\_15\_5 = 1  
x\_25\_17 = 1  
x\_26\_22 = 1  
x\_6\_9 = 1  
x\_9\_21 = 1  
x\_16\_19 = 1  
x\_29\_23 = 1  
x\_17\_11 = 1  
x\_20\_0 = 1  
x\_22\_10 = 1  
x\_18\_2 = 1  
x\_4\_0 = 1  
x\_11\_0 = 1  
x\_7\_8 = 1  
x\_0\_24 = 1  
x\_10\_0 = 1  
x\_0\_12 = 1  
x\_14\_13 = 1  
x\_24\_0 = 1  
u\_1 = 240.000  
u\_2 = 871.000  
u\_3 = 421.000  
u\_4 = 1766.000  
u\_5 = 1717.000  
u\_6 = 424.000  
u\_7 = 897.000  
u\_8 = 907.000  
u\_9 = 735.000  
u\_10 = 1824.000  
u\_11 = 1824.000  
u\_12 = 164.000  
u\_13 = 355.000  
u\_14 = 57.000  
u\_15 = 1411.000



$u_{16} = 193.000$   
 $u_{17} = 1696.000$   
 $u_{18} = 488.000$   
 $u_{19} = 322.000$   
 $u_{20} = 1824.000$   
 $u_{21} = 992.000$   
 $u_{22} = 1242.000$   
 $u_{23} = 1780.000$   
 $u_{24} = 1824.000$   
 $u_{25} = 1473.000$   
 $u_{26} = 985.000$   
 $u_{27} = 375.000$   
 $u_{28} = 216.000$   
 $u_{29} = 1695.000$

Con los siguientes arcos activos [(21, 15), (0, 14), (28, 1), (2, 7), (19, 27), (0, 28), (23, 20), (13, 18), (27, 3), (1, 6), (5, 4), (8, 29), (0, 25), (3, 26), (12, 16), (15, 5), (25, 17), (26, 22), (6, 9), (9, 21), (16, 19), (29, 23), (17, 11), (20, 0), (22, 10), (18, 2), (4, 0), (11, 0), (7, 8), (0, 24), (10, 0), (0, 12), (14, 13), (24, 0)] que gráficamente se muestran en la figura 5.7

Figura 5.7 Solución factible - 29 centros de distribución



{1 : Ancón ; 2 : Ate ; 3 : Barranco ; 4 : San Miguel ; 5 : Breña ; 6 : Carabayllo ; 7 : Chaclacayo ; 8 : Cieneguilla ; 9 : Comas ; 10 : El Agustino ; 11 : Independencia ; 12 : Jesús María ; 13 : La Molina ; 14 : La Victoria ; 15 : Lima ; 16 : Lince ; 17 : Los Olivos ; 18 : Lurigancho ; 19 : Miraflores ; 20 : Pueblo Libre ; 21 : Rímac ; 22 : San Borja ; 23 : San Isidro ; 24 : San Juan de Lurigancho ; 25 : San Martín de Porres ; 26 : Santiago de Surco ; 27 : Surquillo ; 28 : Ventanilla/Puente Piedra ; 29 : Villa María del Triunfo}

## 5.2. De los resultados

De los resultados de los cinco escenarios presentados, se obtiene que, a partir de los 20 centros de distribución en el modelo, se encuentra complejidad computacional. Esto se comprueba con las corridas de 20, 23 y 29 centros de distribución modelos, donde se dejó corriendo el modelo entre 9 y 20 horas, sin obtener una solución óptima.

Figura 5.8. El código corre por 9 horas, sin encontrar solución óptima (20 centros de distribución)

```
In [*]: #Restricción de tiempo de procesamiento
mdl.parameters.timelimit=100000
solucion=mdl.solve(log_output=True)
```

11159048	3754569	252.1800	17	261.9592	250.9085	1.20e+08	4.22%
11176447	3761717	255.6102	14	261.9592	250.9159	1.20e+08	4.22%
11196555	3766758	253.6091	26	261.9592	250.9230	1.21e+08	4.21%
11214272	3771059	cutoff		261.9592	250.9307	1.21e+08	4.21%
11232485	3775840	cutoff		261.9592	250.9364	1.21e+08	4.21%
11252037	3780704	259.5832	14	261.9592	250.9449	1.21e+08	4.20%
11268753	3785812	256.8755	16	261.9592	250.9516	1.21e+08	4.20%
11282400	3790560	261.9592	19	261.9592	250.9581	1.22e+08	4.20%
Elapsed time = 32733.99 sec. (151254.95 ticks, tree = 2049.20 MB, solutions = 17)							
Nodefile size = 1100 MB (670 MB after compression)							
11305859	3795381	261.2095	11	261.9592	250.9657	1.22e+08	4.20%
11322502	3799632	cutoff		261.9592	250.9717	1.22e+08	4.19%
11341667	3804790	255.2014	27	261.9592	250.9777	1.22e+08	4.19%
11358487	3809000	258.4945	17	261.9592	250.9861	1.22e+08	4.19%
11375955	3813915	257.0059	12	261.9592	250.9914	1.23e+08	4.19%
11394507	3818479	260.6647	24	261.9592	250.9984	1.23e+08	4.18%
11409881	3822643	256.4402	25	261.9592	251.0044	1.23e+08	4.18%
11428755	3826761	258.8712	27	261.9592	251.0107	1.23e+08	4.18%
11444459	3830660	infeasible		261.9592	251.0184	1.23e+08	4.18%

Figura 5.9. El código corre por 11.5 horas, sin encontrar solución óptima (20 centros de distribución)

```
In [*]: #Restricción de tiempo de procesamiento
mdl.parameters.timelimit=100000
solucion=mdl.solve(log_output=True)
```

Elapsed time = 40046.72 sec. (3993842.81 ticks, tree = 2701.91 MB, solutions = 17)							
Nodefile size = 653.81 MB (355.17 MB after compression)							
19771533	5100702	260.8157	26	261.9592	253.8585	2.13e+08	3.09%
19840467	5103957	258.1834	23	261.9592	253.8814	2.14e+08	3.08%
19909063	5106651	258.3281	22	261.9592	253.9011	2.15e+08	3.08%
19978184	5110033	261.5095	20	261.9592	253.9237	2.16e+08	3.07%
20046847	5113307	254.8934	22	261.9592	253.9444	2.16e+08	3.06%
20116581	5116543	260.1966	16	261.9592	253.9660	2.17e+08	3.05%
20186165	5119773	259.3204	19	261.9592	253.9865	2.18e+08	3.04%
20254214	5122528	261.3392	25	261.9592	254.0085	2.19e+08	3.04%
20323425	5125540	255.0374	14	261.9592	254.0297	2.19e+08	3.03%
20392040	5128077	261.2110	17	261.9592	254.0523	2.20e+08	3.02%
Elapsed time = 41397.63 sec. (146433.72 ticks, tree = 2717.79 MB, solutions = 17)							
Nodefile size = 653.00 MB (363.72 MB after compression)							
20463487	5130372	259.2435	17	261.9592	254.0745	2.21e+08	3.01%
20533405	5132511	infeasible		261.9592	254.0951	2.21e+08	3.00%
20603441	5134626	cutoff		261.9592	254.1178	2.22e+08	2.99%
20673373	5136376	255.3793	25	261.9592	254.1386	2.23e+08	2.99%
20742788	5138245	cutoff		261.9592	254.1608	2.24e+08	2.98%

Figura 5.10. El código corre por 20 horas, sin encontrar solución óptima (20 centros de distribución)

```
In [*]: #Restricción de tiempo de procesamiento
mdl.parameters.timelimit=100000
solucion=mdl.solve(log_output=True)
Nodefile size = 653.80 MB (371.23 MB after compression)
29702128 4051807 259.1691 19 261.9592 256.9541 3.13e+08 1.91%
29779423 4031065 257.6013 15 261.9592 256.9796 3.14e+08 1.90%
29856967 4006744 cutoff 261.9592 257.0061 3.15e+08 1.89%
29934501 3986016 cutoff 261.9592 257.0310 3.15e+08 1.88%
30012468 3961669 259.0416 19 261.9592 257.0581 3.16e+08 1.87%
30090436 3938690 259.9778 14 261.9592 257.0831 3.17e+08 1.86%
30168385 3914797 259.1484 18 261.9592 257.1109 3.18e+08 1.85%
30246382 3891283 260.3349 14 261.9592 257.1377 3.18e+08 1.84%
30324682 3867940 260.4176 24 261.9592 257.1630 3.19e+08 1.83%
30403027 3844511 259.7101 19 261.9592 257.1901 3.20e+08 1.82%
Elapsed time = 71878.47 sec. (282694.66 ticks, tree = 2101.30 MB, solutions = 17)
Nodefile size = 653.80 MB (371.23 MB after compression)
30481634 3819435 infeasible 261.9592 257.2155 3.21e+08 1.81%
30560447 3793309 infeasible 261.9592 257.2435 3.21e+08 1.80%
30639486 3765902 cutoff 261.9592 257.2715 3.22e+08 1.79%
30718573 3740184 cutoff 261.9592 257.2980 3.23e+08 1.78%
30797864 3715262 cutoff 261.9592 257.3261 3.23e+08 1.77%
30877847 3687474 257.6575 13 261.9592 257.3532 3.24e+08 1.76%
```

Figura 5.11. El código corre por 19 horas, sin encontrar solución óptima (29 centros de distribución)

```
17797448 12414988 268.9227 22 281.4828 217.5790 2.84e+08 22.70%
17845149 12445097 246.7890 37 281.4828 217.5861 2.85e+08 22.70%
17893111 12475074 229.3073 35 281.4828 217.5930 2.86e+08 22.70%
17940735 12505092 218.1903 42 281.4828 217.6004 2.86e+08 22.69%
17988616 12538316 279.8648 19 281.4828 217.6075 2.87e+08 22.69%
Elapsed time = 65859.88 sec. (5368057.25 ticks, tree = 9314.82 MB, solutions = 13)
Nodefile size = 7266.33 MB (3571.35 MB after compression)
18036087 12566541 260.0844 35 281.4828 217.6147 2.88e+08 22.69%
18083400 12595890 235.0010 34 281.4828 217.6218 2.89e+08 22.69%
18130735 12627356 271.5163 30 281.4828 217.6289 2.90e+08 22.68%
18178354 12658411 224.8040 27 281.4828 217.6357 2.90e+08 22.68%
18226356 12686665 256.4037 26 281.4828 217.6428 2.91e+08 22.68%
18274093 12717259 274.8083 22 281.4828 217.6500 2.92e+08 22.68%
18321540 12745497 256.6148 34 281.4828 217.6569 2.93e+08 22.67%
18369097 12776464 245.0045 27 281.4828 217.6636 2.94e+08 22.67%
18416973 12806371 277.2596 24 281.4828 217.6705 2.94e+08 22.67%
18464836 12837381 270.6867 28 281.4828 217.6773 2.95e+08 22.67%
Elapsed time = 67302.70 sec. (5520649.20 ticks, tree = 9536.60 MB, solutions = 13)
Nodefile size = 7487.25 MB (3672.65 MB after compression)
```

El modelo propuesto, por la naturaleza de su estructura con el uso de las llamadas restricciones *Miller-Tucker-Zemlin (MTZ)* y la introducción de la variable de acumulación de la necesidad a ser satisfecha  $u$  (vea la sección 4.2.10, p. 48), se obtienen los resultados donde se asegura cubrir la demanda mínima de cada uno de los centros de distribución debido a que se asignan los vehículos suficientes para satisfacer la máxima demanda. Es decir, la cantidad de vehículos suele ser excesiva para varios de los distritos que demandan, por lo que se puede trasladar muchos más bienes de ayuda humanitaria alimentaria. Estas coberturas se muestran en la tabla 5.1.

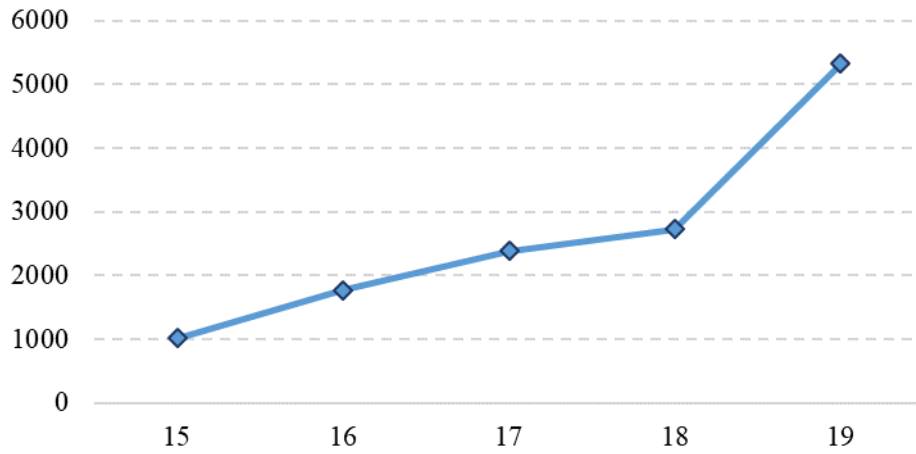
Tabla 5.1 Capacidad de cobertura

Distritos\ Número de centros de distribución	Capacidad de cobertura de demanda por centro de distribución				
	15	16	17	18	19
Ancón	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1
Ate	2.3	2.1	2.1	4.1	2.6
Barranco					
San Miguel					
Breña				13.8	14.1
Carabaylo	2.3	2.0	1.6	1.1	1.2
Chaclacayo	6.5	6.2	6.2	7.4	7.2
Cieneguilla	4.7	4.5	4.5	101.1	115.2
Comas					
El Agustino				3.7	3.8
Independencia				7.3	7.7
Jesús María					
La Molina	1.1	1.0	1.0	7.4	2.5
La Victoria	5.3	5.3	5.5	20.5	1.0
Lima	3.6	3.6	1.0		
Lince					
Los Olivos	8.2	7.4	2.0		
Lurigancho					
Miraflores				1.7	16.0
Pachacamac		6.2	6.2		
Pueblo Libre					49.9
Rímac				4.6	4.8
San Borja	4.6	4.6	4.7	8.0	1.4
San Isidro	1.0	1.0	1.1	1.0	25.6
San Juan de Lurigancho	1.3	1.0	2.6		
San Martín de Porres	1.0	1.0	1.4	1.0	10.2
San Miguel			1.0	4.4	4.9
Santiago de Surco	1.7	1.7	1.8	1.0	1.0
Surquillo					
Ventanilla/Puente Piedra					
Villa María del Triunfo	3.5	6.4	6.4	1.3	2.5
Promedio	3.2	3.4	2.9	10.6	14.4

Para el análisis de datos, se toman los cinco primeros escenarios con los que se alcanzó una solución óptima. De ellos se encuentra que, como se espera, a mayor cantidad de centros de distribución, el tiempo de corrida se incrementa hasta encontrar una solución óptima (vea figura 5.12). De 15 a 16 centros de distribución (DC) el tiempo se incrementa en un 74 %. De 16 a 17, se incrementa en 35 %. De 17 a 18 aumenta en 14 %. Observando de 18 a 19 DC se incrementa

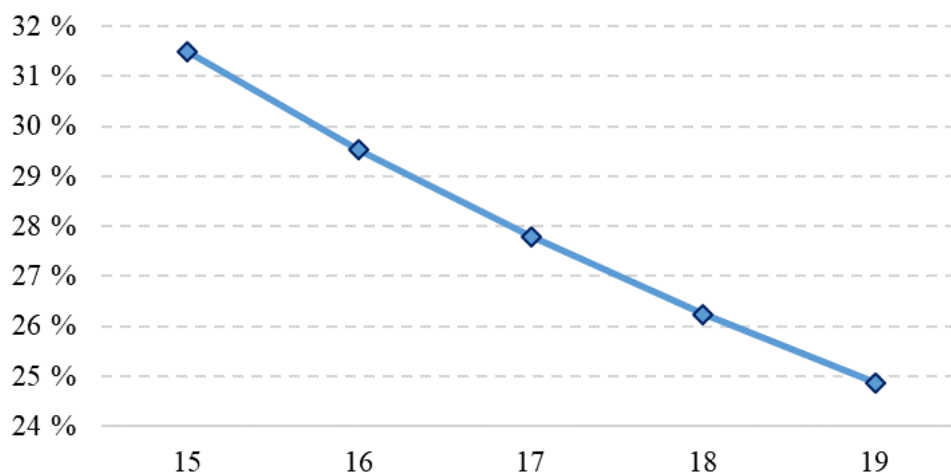
en aproximadamente el 95 % y es en este punto que la complejidad computacional reflejada en los cuadros previos no permite más comparaciones.

Figura 5.12 Tiempo de corrida por escenario de centros de distribución (s)



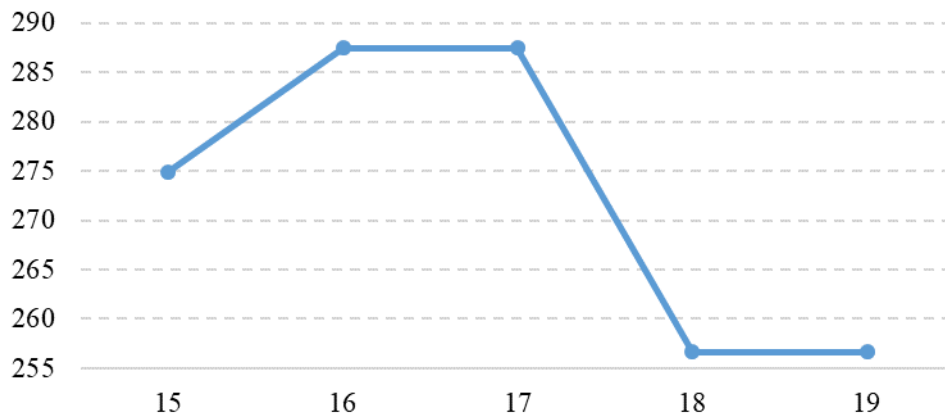
El modelo propuesto toma el cálculo de la demanda de cada centro de distribución y al compararla con la capacidad máxima de los vehículos, promediados por el número de distritos por escenario, se obtiene que mientras mayor es el número de centros de distribución a atender desde el almacén central de INDECI, mayor es la subutilización de los vehículos (vea figura 5.13). Es decir, el uso de la capacidad volumétrica no es utilizado eficientemente.

Figura 5.13 Nivel de utilización de vehículos por escenario de centros de distribución



Respecto a la distancia recorrida, la menor distancia obtenida de forma óptima es de 257 km en total. Esa distancia es obtenida tanto para 18, como para 19 centros de distribución. En consecuencia, estas propuestas, con 18 y 19 DC a pesar del tiempo de corrida son las que mejor optimizan la ruta (vea figura 5.14).

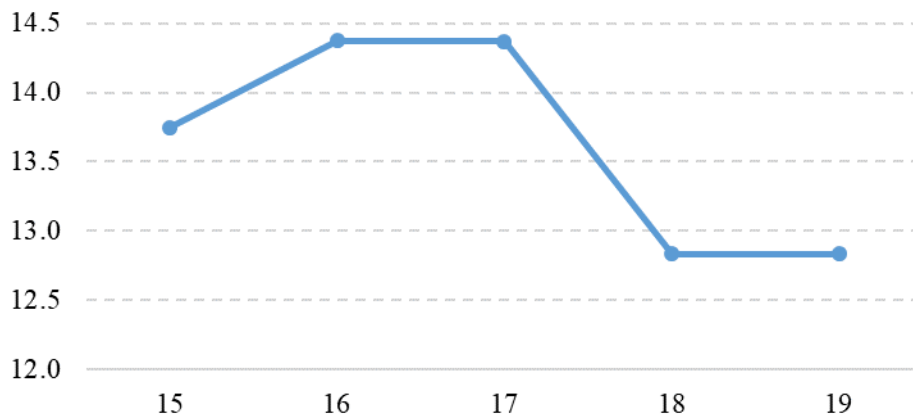
Figura 5.14 Distancia recorrida (km) por escenario de centros de distribución



Si bien las propuestas de 18 y 19 DC obtienen la ruta más corta, esto se logra en detrimento de la utilización de los vehículos, donde hay una subutilización del 75 % de la capacidad.

Si se presume que los vehículos se desplazarán a 20 km/h en promedio, una vez cargados podrán atender a los 493 520 damnificados en los diferentes escenarios por número de centros de atención en un mínimo de 12.83 horas y en un máximo de hasta 14.38 horas sin detenerse. Este es un estimado grueso debido a que no se consideran tiempos de descarga en cada punto de atención, cliente (C) y los vehículos se transportarían con diferentes niveles de utilización.

Figura 5.15 Tiempo de atención (h) por escenario de centros de distribución a 20 km/h



Nota: No se considera el tiempo de carga ni descarga de los vehículos

El desplazamiento de ayuda humanitaria alimentaria se encontraría dentro de las 72 horas recomendadas para la atención de desastres naturales con la magnitud del escenario presentado en esta tesis.

### **5.3. Beneficio de la propuesta (escenario con 18 centros de atención)**

De los escenarios presentados, el menor recorrido lo presenta el escenario con 18 centros de atención, con 257 km a recorrer. Considerando que el precio de diésel al 11 de abril de 2022 es de 15.346 soles/galón y presumiendo un rendimiento de 30 km/galón, entonces, esta ruta resulta ser la más económica requiriendo 131.27 PEN de combustible para un ciclo de recorrido por vehículo. Considerando que se cuenta con 57 vehículos, entonces se el gasto en combustible asciende a 6826 PEN, comparables con los 7646 PEN que corresponden al escenario con 16 centros de atención.

Se presenta esta información con la intención de contar con un referente si este fuera a ser una variable a considerar durante la toma de decisiones de distribución.



# CAPÍTULO 6. Conclusiones y recomendaciones

## 6.1. Conclusiones

- Por la historia de movimientos telúricos del Perú es posible la ocurrencia de un terremoto con las características definidas en esta tesis. Tanto las condiciones geográficas, el nivel de exposición y vulnerabilidad (Cutter et al., 2003; Kámiche & Pacheco, 2010 y Glave et al., 2008) de la ciudad de Lima configura que un terremoto devenga en desastre.
- Por las características tectónicas en el Perú se habría esperado ya una fuerte liberación de energía (Tavera & Bernal, 2005). Sin embargo, desde el último gran terremoto que ocurrió en Lima en 1746, no ha sucedido un fenómeno de similar magnitud en la costa central del Perú, es decir, al 2025, hay una laguna sísmica de 279 años.
- El cálculo del número de damnificados a atender se desarrolla con base en la propuesta de PREDES (2009), de donde se estima 493 520 ciudadanos damnificados. Este cálculo, comparado con los resultados del simulacro nacional de sismo y tsunami llevado a cabo por el INDECI, citado en La República (2018), estiman 50 mil fallecidos y 500 mil afectados como resultado de la ocurrencia de un terremoto de magnitud 8.5 Mw, seguido de un tsunami, con olas de 10 metros de altura. Si bien, la cantidad de damnificados y fallecidos es mayor al cálculo propuesto en esta tesis, eso se debe a que INDECI hace sus estimaciones con base en los datos recolectados por COEN tomando en cuenta los distritos de El Callao que no son parte de este estudio. En síntesis, la estimación de damnificados usada en esta tesis es razonable.
- El modelo VRP propuesto presenta escenarios para 15; 16; 17; 18; 19; 20; 23 y 29 centros de distribución y se obtiene que a partir de 20 se encuentra complejidad computacional. Los escenarios para los que se hicieron corridas muestran que la menor distancia recorrida se obtiene tanto para 18 y 19 DC a pesar de que entre el primero y el segundo el tiempo de corrida se incrementa en un 95 %.
- Debido a la naturaleza matemática del acumulador  $u$  (vea la sección 4.2.10, p. 48) empleado, se garantiza la satisfacción de cada cliente (DC) y brinda al sistema diseñado holguras para generar coberturas: es decir, tener capacidad subutilizada para satisfacer la necesidad de algunos DC más de una vez. Esta subutilización del recurso “vehículo” puede evitarse con información actualizada de los activos con los que cuenta el INDECI y que destina para el transporte. Se llegan a atender los 493 520 damnificados (vea tabla 4.16, p. 42).
- El desplazamiento de ayuda humanitaria alimentaria se encontraría dentro de las 72 horas recomendadas para la atención de desastres naturales de la magnitud de este estudio. Para esta

conclusión no se considera el tiempo de carga ni descarga de los bienes a los vehículos, solo se está considerando el recorrido o desplazamiento.

- Este estudio no demuestra que 14.38 horas (máximo tiempo de atención obtenido del escenario para 16 centro de distribución) son exactas para la repartición de ayuda alimentaria humanitaria a todos los damnificados. Este tiempo se verá afectado por condiciones no consideradas como carga, descarga, disponibilidad de personal, disponibilidad de infraestructura vial y las condiciones posdesastre configuradas por el terremoto.

## **6.2.Recomendaciones**

- Debido a que esta tesis no contempla que la ruta sea por las calles de Lima, se recomienda perfeccionar la propuesta siguiendo el catastro más actualizado de los distritos involucrados para este estudio. Esto requeriría una investigación a futuro de los daños a las vías rápidas principales de Lima después de un escenario de terremoto.
- Por la naturaleza de la labor que conlleva actividades de carga, descarga, reposición de combustible y fuerza laboral, solo se recomienda hacer un recorrido diario. Este estudio no demuestra que 14.38 horas son suficientes para atender a todos los damnificados. Por lo que, si se requiriera hacer más de un recorrido dentro de las 72 primeras horas de emergencia, se limite a un ciclo completo cada 24 horas.
- Es importante resaltar que los centros de distribución localizados para Cieneguilla y Chaclacayo no pueden ser alcanzados en línea directa debido a la cadena montañosa costeña que pasa en medio. Esta restricción no fue considerada para el estudio, por lo que los resultados pueden ser afinados con un modelo aún más complejo.
- Se recomienda un estudio que catalogue los activos INDECI destinados al transporte logístico para así mapear la cantidad de vehículos a disposición y así generar restricciones que hagan el modelo propuesto más eficiente. De la misma manera, un estudio futuro puede aprovechar información actual de organizaciones o autoridades locales como las municipalidades, para conocer las rutas actualmente delimitadas para su uso en situaciones de emergencia, como un terremoto.
- Se recomienda generar una base de datos con información relevante sobre potenciales ubicaciones para centros de distribución de emergencia. Esta información debe considerar las distancias desde el almacén central y su idoneidad para abastecer a la mayor cantidad posible de damnificados aledaños, optimizando su tiempo de viaje para la recolección de ayuda humanitaria desde los centros propuestos.

## Referencias

- Anderson, M. B. (1993). Disaster vulnerability and sustainable development: a general framework for assessing vulnerability. *The Collaborative for Development Action, Inc., 1*, 334-363.
- Asian Disaster Reduction Center. (2005). *Total Disaster Risk Management – Good Practices*. 5. Recuperado de <https://www.hhs.gov/ohrp/sites/default/files/ohrp/education/brochures/3panelfinal.pdf>
- Asociación Esfera. (2018). *Manual Esfera: Carta Humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria* (4.ª edición). Asociación Esfera. Recuperado de <http://www.spherestandards.org/handbook/editions/>
- Balcik, B. y Beamon, B. M. (2008). Facility location in humanitarian relief, *International Journal of Logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management*, 11(2), 101-121. doi.org/10.1080/13675560701561789
- Berger, R. T., Coullard, C. R., y Daskin, M. S. (2007). Location-Routing Problems with Distance Constraints. *Transportation Science*, 41(1), 29–43. doi:10.1287/trsc.1060.0156
- Caruso, G. D. (1993). The legacy of natural disasters: The intergenerational impact of 100 years of disasters in Latin America. *Journal of Development Economics*, 127, 209-233. doi.org/10.1016/j.jdeveco.2017.03.007
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. Emergency Events Database. (2018). *General classification of disasters*. Recuperado de <https://doc.emdat.be/docs/data-structure-and-content/disaster-classification-system/>
- Centro de Estudios y Prevención de Desastres. (2009). *Diseño de Escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao, Perú* (Reporte S/N a solicitud del Instituto Nacional de Defensa Civil). Lima: PREDES. Recuperado de <https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/documents/files/redhum-pe-diseno-de-esenario-del-impacto-de-un-sismo-en-lima-y-callao-indeci-predes-200904.pdf>
- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño. (2018). *Aproximación para el Cálculo de Riesgo*. Recuperado de [http://www.ciifen.org/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=84&Itemid=336&lang=](http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=84&Itemid=336&lang=)
- Centro Peruano Japonés De Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. (2010). Perú: Crecimiento y distribución de la población, 2017. En Evaluación de la Amenaza Frente a Tsunami para Lima Y Callao, *Estudio de microzonificación sísmica y vulnerabilidad en la ciudad de lima*. Ubicación: Lima.
- Coburn, A.W. Spence, R.J.S. y Pomonis, A. (1991). *Vulnerabilidad y evaluación de riesgo*. Maling Lane, Cambridge, Inglaterra: Departamento de Ayuda Humanitaria (DHA).
- Cutter, S.L., Boruff, B.J. y Shirley, W.L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84, 242-261. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>
- Daskin, M. S., Dean, L. L., & Goldstein, M. (1993). *Location of distribution facilities: A branch and bound approach*. *Transportation Science*, 27(1), 43–57.

- Dessouky, M., Ordóñez, F., Jia, H. y Shen, Z. (2006). Rapid Distribution of Medical Supplies. *Springer Science+Business Media*, 91. doi.org/10.1007/978-0-387-33636-7\_11
- Dorbath, L., Cisternas, A. y Dorbath, C. (1990). Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Perú. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80(3), 551-576.
- El Decreto Supremo N° 048-2011-PCM (2011). *Decreto Supremo que modifica el Reglamento de la Ley N° 29664, que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD)*. Presidencia de la República del Perú. Recuperado de <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC103182>
- Geographic Perspectives on Sustainability and Human-Environment Systems-PennState College of Earth and Mineral Sciences. (2018). *What is a Natural Hazard?* Recuperado de <https://www.e-education.psu.edu/geog30/node/378>
- Glave, M., Fort, R. y Rosemberg, C. (2008). Disaster Risk and Poverty in Latin America: The Peruvian Case Study. *United Nations Development Programme Regional Bureau for Latin America and the Caribbean - MDGs and Poverty*, s/n.
- Habib, M.S., Lee, Y.H. y Memon, M.S. (2016). Mathematical models in humanitarian supply chain management: a systematic literature review. *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering*, 20. doi.org/10.1155/2016/3212095
- Haddow, G. D., Bullock, J. A. y Coppola, D. P. (2017). *Natural and technological hazards and risk assessment. Introduction to Emergency Management*. 33–77. doi:10.1016/b978-0-12-803064-6.00002-0
- Haghani, A. y Oh, S. (1996). Formulation and Solution of a Multi-Commodity Multi-Modal Network Flow for Disaster Relief Operations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 30, 231-250. doi.org/10.1016/0965-8564(95)00020-8
- Instituto Geofísico del Perú. (2010). *Zonificación sísmico-geotécnica para siete distritos de Lima Metropolitana (Comportamiento dinámico del suelo)*. Recuperado de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUK Ew io\\_4O94qLeAhUI7FMKHQ7MD4IQFjAAegQIBxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.indeci.gob.pe%2Fuserfiles%2FZONIFICACION%2520SISMICO-GEOTECNICA%2520DISTRITO%2520SANTA%2520MARIA%2520LIMA%2520-%2520IGP.pdf&usq=AOvVaw0zkmuxHwBn2QvcC38gsuQM](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUK Ew io_4O94qLeAhUI7FMKHQ7MD4IQFjAAegQIBxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.indeci.gob.pe%2Fuserfiles%2FZONIFICACION%2520SISMICO-GEOTECNICA%2520DISTRITO%2520SANTA%2520MARIA%2520LIMA%2520-%2520IGP.pdf&usq=AOvVaw0zkmuxHwBn2QvcC38gsuQM)
- Instituto Geofísico del Perú. (2014). *Evaluación del Peligro Asociado a los Sismos y Efectos Secundarios en Perú (Reporte S/N)*. Lima: Tavera, H.
- Instituto Geofísico del Perú. (2017). *Actualización del Escenario por Sismo, Tsunami y Exposición en la Región Central del Perú (Reporte S/N)*. Lima: Tavera, H. Recuperado de [http://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/IGP/781/Actualizaci%C3%B3n\\_Escenario\\_Sismo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/IGP/781/Actualizaci%C3%B3n_Escenario_Sismo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2003). *Manual de organización y funciones (MOF)*. (Reporte S/N). Lima: INDECI. Recuperado de <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/fil20170516152106.pdf>
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2005). *Compendio estadístico de atención y prevención de desastres 2005 VIII Glosario de términos*. (Reporte S/N). Lima: INDECI.

- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2013). *Compendio Estadístico del INDECI 2013 en la Preparación, Respuesta y Rehabilitación ante Emergencias y Desastres*. (Reporte S/N). Lima: INDECI
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2015). *Manual para la asistencia alimentaria en emergencias en el Perú* (1° Edición.), *World Food Program*. Ubicación: Lima.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2017). *Plan Logístico de Bienes de Ayuda Humanitaria Anual* (Programa Presupuestal 0068: Reducción de Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres). INDECI. Recuperado de [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1580630/DISE%C3%91O%202022\\_PP%200068\\_FINAL.pdf.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1580630/DISE%C3%91O%202022_PP%200068_FINAL.pdf.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2014). Territorio. En Enciclopedia del Estudiante Santillana 2011 (1° edición) (Reporte S/N). Lima: INDECI
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). Perú: Crecimiento y distribución de la población, 2017. En Censos Nacionales (1° edición.), *Censos Nacionales 2017: XII de Población y VII de Vivienda*. Ubicación: Lima.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2024). *Pobreza monetaria afectó al 29.0% de la población en el año 2023*. Gobierno del Perú. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/inei/noticias/951234-pobreza-monetaria-afecto-al-29-0-de-la-poblacion-el-ano-2023>
- Kámiche, J. y Pacheco, A. (2010). ¿Cuánto es afectado el consumo de los hogares cuando ocurre un desastre de origen natural? Un análisis empírico para el Perú, 2004-2006. *Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico, s/n*, 67-107. ISSN 0252-1865
- Knott, R. (1987). The logistics of bulk relief supplies. *Disasters*, 11(1), 63–75. doi.org/10.1111/j.1467- 7717.1987.tb00624.x
- La República. (2018, 13 de mayo). *Simulacro de sismo: 50 mil personas fallecerán en terremoto de magnitud 8.5*. La República. Recuperado de: <https://larepublica.pe/sociedad/1252853-simulacro-sismo-50-mil-personas-falleceran-terremoto-magnitud-85-fotos>
- Langer, C.J., Spence W. (1995). The 1974 Peru Earthquake Series. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85(3), 665-687.
- Lavell, A. & Maskrey, A. (2014). The future of disaster risk management. *Environmental Hazards*. doi.org/10.1080/17477891.2014.935282
- Martinez, A.J., Stapleton, O. y Van Wassenhove, L.N., (2012). On the use of evidence in humanitarian logistics research. *Disasters*, 37(S1), S51–S67. doi:10.1111/disa.12012
- Maskrey, A. (1993). Los Desastres No Son Naturales. *Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina*. Recuperado de <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf>
- Melkote, S., y Daskin, M. S. (2001). An integrated model of facility location and transportation network design. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(6), 515–538. doi:10.1016/s0965-8564(00)00005-7
- Ministerio Del Ambiente del Perú. (2012). *Mapa de suelos en los distritos de Lima*. Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-suelos-distritos-lima>

- Municipalidad Metropolitana de Lima. (2015). *Plan de Prevención y Reducción de Riesgos de Desastres de Lima Metropolitana (2015-2018)*. Municipalidad Metropolitana de Lima. Recuperado de <https://www.munlima.gob.pe/images/planes-contingencia/Plan%20de%20Prevencion%20y%20Reduccion%20de%20Riesgos%20de%20Desastres%20de%20Lima%20Metropolitana%202015-2018.pdf>
- National Centers for Environmental Information (2020). *NCEI/WDS Global Significant Earthquake Database, 2150 BC to Present*. <https://data.nodc.noaa.gov/cgi-bin/iso?id=gov.noaa.ngdc.mgg.hazards:G012153>
- National Geophysical Data Center/World Data Service. (NGDC/WDS, 2018): *NCEI/WDS Global Significant Earthquake Database, 2150 BC to Present*. [doi:10.7289/V5TD9V7K](https://doi.org/10.7289/V5TD9V7K)
- Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator. (UNDRO, 1979). *Natural Disasters and Vulnerability Analysis, Report of Expert Group Meeting*. Recuperado de <https://archive.org/details/naturaldisasters00offi>
- Plafker, G., Ericksen G.E., Fernández Concha, J. (1971). Geological Aspects of the May 31<sup>st</sup>, 1970, Perú Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 61(3), 543-578. Recuperado de <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/61/3/543/326780/geological-aspects-of-the-may-31-1970-peru?redirectedFrom=fulltext>
- Quarantelli, E.L. (1985). What is a disaster? The need for clarification in definition and conceptualization in research. *University of Delaware Disaster Research Center, s/n*, 41-73. Recuperado de <http://udspace.udel.edu/handle/19716/1119>
- Resolución Ministerial N° 027-2016-PCM. Diario Oficial El Peruano, Lima. 11 de febrero de 2016.
- Secretaría General de la Comunidad Andina. (2018). *Glosario de Términos y Conceptos de la Gestión del Riesgo de Desastres para los Países Miembros de la Comunidad Andina (1° Edición.)*, Comunidad Andina Secretaría General. Ubicación: San Isidro, Lima. Recuperado de <https://www.comunidadandina.org/StaticFiles/2018619133838GlosarioGestionDeRiesgoSGCA.pdf>
- Serpa, V. (2014). *Optimización y localización de almacenes de abastecimiento para la atención de un terremoto de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la Pontificia Universidad Católica del Perú <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5352>
- Tavera, H. y Buforn, E. (1998). Sismicidad y sismotectónica de Perú. *Física de la Tierra*, 10, 187-219. Recuperado de <http://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/view/FITE9898110187A/12151>
- Tavera, H. y Bernal I. (2005). Distribución espacial de áreas de ruptura y lagunas sísmicas en el Borde Oeste del Perú. *Volumen Especial Alberto Giesecke Matto*, 6, 89-102. Recuperado de [https://scts.igp.gob.pe/sites/scts.igp.gob.pe/files/Unidad-Sismologia/PUBLICACIONES/01-articulos/castellano/33tavaera\\_lagunas.pdf](https://scts.igp.gob.pe/sites/scts.igp.gob.pe/files/Unidad-Sismologia/PUBLICACIONES/01-articulos/castellano/33tavaera_lagunas.pdf)

- The World Bank (2010). *Peligros naturales, desastres evitables*. Recuperado de <http://documents1.worldbank.org/curated/en/927421468337249991/pdf/578600SPANISH00turalHazards0Spanish.pdf>
- Tomasini, R. & Van Wassenhove, L. (2009). *Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*. Londres, Inglaterra: Palgrave MacMillan.
- Toth, P. y Vigo, D. (2002). *The vehicle routing problem*. Filadelfia, Estados Unidos de América: SIAM monographs on discrete mathematics and applications.
- United Nations Development Programme Regional Bureau for Latin America and the Caribbean. (2008). *Disaster Risk and Poverty in Latin America: The Peruvian Case Study*. (Reporte S/N). Lima: Glave, M., Fort, R. y Rosemberg, C. Recuperado de <https://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/background-papers/documents/Chap3/LAC-overview/Peru.pdf>
- United Nations International Strategy for Disaster Reduction. (2018). *Definition of disaster types*. Recuperado de <https://www.desinventar.net/definiciones.html>
- United Nations International Strategy for Disaster Reduction. (2009). *Terminology on Disaster Risk Reduction*. Recuperado de <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/7817>
- United Nations (UN). (2020). *Disasters and inequality in a protracted crisis: Towards universal, comprehensive, resilient, and sustainable social protection systems in Latin America and the Caribbean*. Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC). Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/dd010520-af35-4c2d-b8c7-5c4fb869ca6b/content>
- United States Geological Survey Archives. (2018). *Where do earthquakes occur?*. Recuperado de <https://web.archive.org/web/20140805134145/http://www.usgs.gov/faq/categories/9831/3342>
- United States Geological Survey. (2018). *Ring of Fire*. Recuperado de <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/fire.html>
- Uribe, G. (2022). *Localización de almacenes de ayuda humanitaria en caso de terremotos en Cercado de Lima utilizando programación entera* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la Pontificia Universidad Católica del Perú <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/26137>
- Van Wassenhove, L. (2006) Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society*, 57(5), 475-489. doi.org/10.1080/17477891.2014.935282
- Vargas Florez, J., Charles, A., Lauras, M., & Dupont, L. (2014). Designing realistic scenarios for disaster management quantitative models. En *ISCRAM 2014 Conference Proceedings – 11th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management* (pp. 180–189). The Pennsylvania State University. <https://cris.pucp.edu.pe/en/publications/designing-realistic-scenarios-for-disaster-management-quantitativ>
- Velásquez, K. (2018). *Localización de albergues y evacuación de personas para casos de inundación en la costa peruana utilizando métodos de optimización multicriterio*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la Pontificia Universidad Católica del Perú <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/12423>

Vitoriano, B., Ortuño, M. T., Tirado, G., y Montero, J. (2010). A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution. *Journal of Global Optimization*, 51(2), 189–208. doi:10.1007/s10898-010-9603-z

WorldData.info (2020). *Earthquakes in Peru*. Recuperado de <https://www.worlddata.info/america/peru/earthquakes.php>



## **Anexos**

### **ANEXO 1: Unidades estructurales de Perú. Sismicidad y Sismotectónica del Perú**

#### **La Franja Costera (Z.C.)**

Es una zona estrecha de aproximadamente 40 km de ancho que se extiende de Norte a Sur y está constituida en su mayoría por suaves plegamientos volcánicos y rocas sedimentarias del Mesozoico. En la zona Sur, está formada por basamentos de rocas cristalinas fuertemente plegadas y sujetas a deformación desde el Precámbrico.

#### **La Cordillera Occidental**

Constituye el batolito plutónico andino de mayor volumen y continuo desde Venezuela hasta Tierra del Fuego en Chile. En Perú se distribuye de Norte a Sur paralelo a la línea de costa. La parte más elevada de esta cordillera (4 200-4 500 m) está formada por series del Mesozoico, más o menos plegadas y recubiertas de manera heterogénea por una capa volcánica del Cenozoico. Esta cordillera aumenta notablemente su anchura en la región Sur del Perú.

#### **El Altiplano**

Se encuentra situada entre las cordilleras Occidental y Oriental. En la región Sur tiene un ancho de 200 km, extendiéndose hacia el Norte hasta 905 aproximadamente, en donde alcanza un ancho de 50 km y después desaparece. Esta unidad está formada por una serie de cuencas intra-montañas del Cenozoico que se prolongan hacia el altiplano boliviano. La zona Sur de esta unidad, está invadida por estructuras volcánicas activas del Terciario Superior.

#### **La Cordillera Oriental.**

En promedio menos elevada que la Cordillera Occidental (3700-4000 m), corresponde principalmente a un extenso anticlinal, formado esencialmente por depósitos intrusivos del Precámbrico. En la región Sur, esta cordillera se curva en dirección E-W para luego continuar paralela a las unidades mencionadas anteriormente.

#### **La Zona Sub-andina**

Esta es una zona de anchura variable, en donde se amortiguan las estructuras andinas. La zona Sub-andina se localiza entre la Cordillera Andina y la Llanura Amazónica y está formada por una cobertura de sedimentos del Mesozoico y Cenozoico, fuertemente afectadas por pliegues de gran longitud de onda.

Fuente: tomado de Tavera y Buforn (1998)

## **ANEXO 2:**

Zonas en el Código de Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Construcciones (Norma E-030, 2003)

### **ZONA I**

Esta zona está conformada por los afloramientos rocosos, los estratos de grava coluvial-aluvial de los pies de las laderas que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento rígido, con periodos de vibración natural determinados por las mediciones de microtrepidaciones (registros de vibración ambiental) que varían entre 0.1 y 0.3 s. Para la evaluación del peligro sísmico a nivel de superficie del terreno se considera que el factor de amplificación sísmica por efecto local del suelo es de  $S = 1.0$  y un periodo natural de  $T_s = 0.4$  s, correspondiéndole a un suelo Tipo. 1 de la norma sismo resistente peruana.

### **ZONA II**

En esta se incluyen las áreas de terreno conformado por un estrato superficial de suelos granulares finos y suelos arcillosos, cuyas potencias varían entre 3.0 y 10.0 m. Subyaciendo a estos estratos se encuentra la grava aluvial o grava coluvial. Los periodos predominantes del terreno determinados por las mediciones de micro trepidaciones, en esta zona varían entre 0.3 y 0.5 s. Para la evaluación del período sísmico, a nivel de superficie del terreno, se considera que el factor de amplificación sísmica por efecto local del suelo, es  $S = 1.2$  y el periodo natural del suelo es  $T_s = 0.6$ , correspondiendo a un suelo Tipo-2 de la norma sismo resistente peruana.

### **ZONA III**

Esta zona está conformada, en su mayor parte, por los depósitos de suelos finos y arenas de gran espesor, que se encuentran en estado suelto. Los periodos predominantes encontrados en estos suelos varían entre 0.5 y 0.7 s, por lo que su comportamiento dinámico ha sido tipificado como un suelo Tipo-3 de la norma sismo resistente peruana, con un factor de amplificación sísmica  $S = 1.4$  y un periodo natural de  $T_s = 0.9$  s.

### **ZONA IV**

Esta zona está conformada por los depósitos de arena eólicas de gran espesor y sueltas, depósitos fluviales, depósitos marinos y suelos pantanosos. Los periodos predominantes encontrados en estos suelos son mayores que 0.7 s, por lo que su comportamiento dinámico ha sido tipificado como un suelo Tipo-4 de la norma sismo resistente peruana, asignándoles un factor de amplificación sísmica  $S = 1.6$  y un periodo natural de  $T_s = 1.2$  s (caso especial según la Norma).

## ZONA V

Están constituidos por áreas puntuales conformadas por depósitos de rellenos sueltos de desmontes heterogéneos que han sido colocados en depresiones naturales o excavaciones realizadas en el pasado, con potencias entre 5.0 y 15.0 m. En esta zona se incluyen también a los rellenos sanitarios que en el pasado se encontraban fuera del área urbana y en la actualidad han sido urbanizados. El comportamiento dinámico de estos rellenos es incierto por lo que requiere un estudio específico.

Fuente: tomado de Ministerio del Ambiente (2012)



### ANEXO 3: Base legal

- Ley N° 29664. Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) y modificatorias. Reglamento aprobado por D.S. N° 048-2011-PCM.
- Ley N° 27444. Ley del Procedimiento Administrativo General.
- Ley N° 27867. Ley Orgánica de los Gobiernos Regionales.
- Ley N° 27972. Ley Orgánica de Municipalidades y sus modificatorias.
- Decreto Legislativo N° 1062. Ley de Inocuidad de los Alimentos y su Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 034-2008-AG.
- Decreto Supremo N° 007-98-SA. Reglamento sobre Vigilancia y Control Sanitario de Alimentos y Bebidas, sus modificatorias y ampliatorias.
- Decreto Supremo N° 043-2013-PCM. Aprueba el ROF (Reglamento de Organización y Funciones) del INDECL
- Resolución Ministerial N° 449-2006-MINSA. Norma Sanitaria para la aplicación del Sistema HACCP en la Fabricación de Alimentos y Bebidas.
- Resolución Ministerial N° 591-2008/MINSA. Criterios Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad para los Alimentos y Bebidas de Consumo Humano.
- Resolución Ministerial N° 222-2009/MINSA. Aprueba la Norma Sanitaria para el Procedimiento de Atención de Alertas Sanitarias de Alimentos y Bebidas de Consumo Humano.
- Resolución Ministerial N° 046-2013-PCM. Lineamiento que define el Marco de Responsabilidad en Gestión del Riesgo de Desastres, de las entidades del Estado en los tres niveles de Gobierno.
- Resolución Ministerial N° 0292-2013-PCM. Aprueba la Directiva NO 001-2013-PCWSINAGERD, para la Asistencia Humanitaria Internacional ante desastres de gran magnitud.
- Resolución Ministerial N° 066-2015-SA. Norma Sanitaria para el Almacenamiento de Alimentos Terminados destinados al Consumo Humano.
- Resolución Jefatural N° 335-90-INAP/DNA. Manual de Administración de Almacenes para el Sector Público Nacional.

**ANEXO 4:** Distritos sectorizados del proyecto de PREDES (2009)

Tabla 0.1 Distritos sectorizados del proyecto de PREDES 2009

Distrito	Población proyectada al 30/06/2017	Sectores
Lima	265 693	6 sectores, por tener zonas con diversa antigüedad, lo que se refleja en el material de construcción y el estado de conservación.
Ate	661 786	6 sectores, distrito con diversos tipos de ocupación residencial, lo que se refleja en el material de construcción y el estado de consolidación.
Barranco	28 970	2 sectores, cuenta con una zona muy antigua y deteriorada, donde predomina el adobe como material de construcción.
Chorrillos	336 054	5 sectores. Distrito complejo con una zona muy antigua y diversos tipos de ocupación residencial, lo que se refleja en el material de construcción y el estado de consolidación.
Independencia	220 372	2 sectores, uno moderno con grandes centros comerciales y el otro residencial en proceso de consolidación. Tomada de su
La Molina	179 785	5 sectores. Sectorización tomada de su página web.
La Victoria	166 657	3 sectores. Distrito complejo con una zona muy antigua y diversos tipos de ocupación residencial, lo que se refleja en el material de construcción y el estado de consolidación.
Los Olivos	384 711	8 sectores con características diversas en sus construcciones de carácter residencial.
Lurigancho	229 307	2 sectores, separando la zona de Jicamarca y Cajamarquilla, de su zona que se desarrolla a lo largo de la Carretera Central.
Magdalena del Mar	54 925	2 sectores. Se está diferenciando el sector residencial en proceso de densificación.
Miraflores	81 619	2 sectores. Se está diferenciando el sector residencial en proceso de densificación.
Rímac	162 897	4 sectores, Distrito complejo con una zona muy antigua y diversos tipos de ocupación residencial, lo que se refleja en el material de construcción y el estado de consolidación.
San Juan de Lurigancho	1 138 453	8 sectores, distrito con diversos tipos de ocupación residencial, lo que se refleja en el material de construcción y el estado de consolidación.
San Juan de Miraflores	415 870	7 sectores. Distrito con diversos tipos de ocupación residencial, lo que se refleja en el material de construcción y el estado de
San Martín de Porres	729 974	2 sectores, divididos de acuerdo a estado de conservación y grado de consolidación de las viviendas.
Santiago de Surco	357 577	4 sectores. Distrito con diversos tipos de ocupación residencial, lo que se refleja en el material de construcción y el estado de
Villa El Salvador	482 027	5 sectores. Divididos de acuerdo a estado de conservación y grado de consolidación de las viviendas. Sectorización realizada a partir de información de su Plan de desarrollo concertado.
Villa María del Triunfo	465 735	7 sectores. Distrito con diversos tipos de ocupación residencial, lo que se refleja en el material de construcción y el estado de

Fuente: adaptado de PREDES (2009, p.24)

## ANEXO 5: Cantidad y ubicación de almacenes

Tabla 0.2 Cantidad y ubicación de almacenes – total de damnificados (16 almacenes)

N°	Ubicación	Abastece a	Población	Fallecidos por rango	Heridos por rango	Total de damnificados
1	Ancón	Ancón	41 474	125	1 245	103 832
		San Juan de Lurigancho	1 138 453	9 108	93 354	
2	Ate	Ate	661 786	1 986	19 854	21 840
3	Carabaylo	Carabaylo	317 952	954	9 539	40 535
		Comas	537 263	1 612	16 118	
		Puente Piedra	373 062	1 120	11 192	
4	Chaclacayo	Chaclacayo	44 197	133	1 326	9 027
		Lurigancho	229 307	688	6 880	
5	Cieneguilla	Cieneguilla	49 707	50	498	15 919
		Villa María del Triunfo	465 735	1 398	13 973	
6	La Molina	Chorrillos	336 054	1 009	10 082	24 889
		La Molina	179 785	540	5 394	
		Santa Anita	238 290	715	7 149	
7	La Victoria	Breña	74 711	225	2 242	17 467
		La Victoria	166 657	1 334	13 666	
8	Lima	Lima	265 693	2 126	21 787	29 172
		Pueblo Libre	76 129	229	2 284	
		San Miguel	137 247	275	2 471	
9	Los Olivos	Los Olivos	384 711	1 155	11 542	12 697
10	Pachacámac	San Juan de Miraflores	415 870	1 248	12 477	13 725
11	San Borja	San Borja	112 712	1 128	13 526	16 584
		San Luis	58 461	176	1 754	
12	San Isidro	Jesús María	71 680	216	2 151	24 109
		Lince	49 064	148	1 472	
		Magdalena del Mar	54 925	440	4 504	
		Miraflores	81 619	653	6 693	
		San Isidro	53 460	428	4 384	
		Surquillo	91 474	275	2 745	
13	San Juan de Lurigancho	El Agustino	195 304	1 954	23 437	40 053
		Rímac	162 897	1 304	13 358	
14	San Martín de Porres	Independencia	220 372	662	6 612	72 972
		San Martín de Porres	729 974	5 840	59 858	
15	Santiago de Surco	Barranco	28 970	232	2 376	34 791
		Santiago de Surco	357 577	2 861	29 322	
16	Villa María del Triunfo	Villa El Salvador	482 027	1 447	14 461	15 908
					<b>Total</b>	<b>493 520</b>

Fuente: adaptado de Serpa (2014)

Tabla 0.3 Cantidad y ubicación de almacenes – total de damnificados (17 almacenes)

N°	Ubicación	Abastece a	Población	Fallecidos por rango	Heridos por rango	Total de damnificados
1	Ancón	Ancón	41 474	125	1 245	103 832
		San Juan de Lurigancho	1 138 453	9 108	93 354	
2	Ate	Ate	661 786	1 986	19 854	21 840
3	Carabaylo	Carabaylo	317 952	954	9 539	40 535
		Comas	537 263	1 612	16 118	
		Puente Piedra	373 062	1 120	11 192	
4	Chaclacayo	Chaclacayo	44 197	133	1 326	9 027
		Lurigancho	229 307	688	6 880	
5	Cieneguilla	Cieneguilla	49 707	50	498	15 919
		Villa María del Triunfo	465 735	1 398	13 973	
6	La Molina	Chorrillos	336 054	1 009	10 082	24 889
		La Molina	179 785	540	5 394	
		Santa Anita	238 290	715	7 149	
7	La Victoria	Breña	74 711	225	2 242	17 467
		La Victoria	166 657	1 334	13 666	
8	Lima	Lima	265 693	2 126	21 787	26 426
		Pueblo Libre	76 129	229	2 284	
9	Los Olivos	Los Olivos	384 711	1 155	11 542	12 697
10	Pachacámac	San Juan de Miraflores	415 870	1 248	12 477	13 725
11	San Borja	San Borja	112 712	1 128	13 526	16 584
		San Luis	58 461	176	1 754	
12	San Isidro	Jesús María	71 680	216	2 151	24 109
		Lince	49 064	148	1 472	
		Magdalena del Mar	54 925	440	4 504	
		Miraflores	81 619	653	6 693	
		San Isidro	53 460	428	4 384	
		Surquillo	91 474	275	2 745	
13	San Juan de Lurigancho	El Agustino	195 304	1 954	23 437	40 053
		Rímac	162 897	1 304	13 358	
14	San Martín de Porres	Independencia	220 372	662	6 612	72 972
		San Martín de Porres	729 974	5 840	59 858	
15	San Miguel	San Miguel	137 247	275	2 471	2 746
16	Santiago de Surco	Barranco	28 970	232	2 376	34 791
		Santiago de Surco	357 577	2 861	29 322	
17	Villa María del Triunfo	Villa El Salvador	482 027	1 447	14 461	15 908
					<b>Total</b>	<b>493 520</b>

Fuente: adaptado de Serpa (2014)

Tabla 0.4 Cantidad y ubicación de almacenes – total de damnificados (18 almacenes)

N°	Ubicación	Abastece a	Población	Fallecidos por rango	Heridos por rango	Total de damnificados
1	Ancón	Ancón	41 474	125	1 245	103 832
		San Juan de Lurigancho	1 138 453	9 108	93 354	
2	Ate	Ate	661 786	1 986	19 854	21 840
3	Breña	Jesús María	71 680	216	2 151	7 311
		Magdalena del Mar	54 925	440	4 504	
4	Carabayllo	Carabayllo	317 952	954	9 539	40 535
		Comas	537 263	1 612	16 118	
		Puente Piedra	373 062	1 120	11 192	
5	Chaclacayo	Chaclacayo	44 197	133	1 326	9 027
		Lurigancho	229 307	688	6 880	
6	Cieneguilla	Cieneguilla	49 707	50	498	548
7	El Agustino	El Agustino	195 304	1 954	23 437	25 391
8	Independencia	Independencia	220 372	662	6 612	7 274
9	La Molina	La Molina	179 785	540	5 394	13 798
		Santa Anita	238 290	715	7 149	
10	La Victoria	Breña	74 711	225	2 242	6 017
		Lince	49 064	148	1 472	
		San Luis	58 461	176	1 754	
11	Miraflores	Miraflores	81 619	653	6 693	7 346
12	Rímac	Rímac	162 897	1 304	13 358	14 662
13	San Borja	San Borja	112 712	1 128	13 526	14 654
14	San Isidro	San Isidro	53 460	428	4 384	4 812
15	San Martín de Porres	Los Olivos	384 711	1 155	11 542	12 697
		Lima	265 693	2 126	21 787	
16	San Miguel	Pueblo Libre	76 129	229	2 284	29 172
		San Miguel	137 247	275	2 471	
		San Martín de Porres	729 974	5 840	59 858	
17	Santiago de Surco	Barranco	28 970	232	2 376	129 600
		Chorrillos	336 054	1 009	10 082	
		La Victoria	166 657	1 334	13 666	
		Santiago de Surco	357 577	2 861	29 322	
		Surquillo	91 474	275	2 745	
		San Juan de Miraflores	415 870	1 248	12 477	
18	Villa María del Triunfo	Villa El Salvador	482 027	1 447	14 461	45 004
		Villa María del Triunfo	465 735	1 398	13 973	
					<b>Total</b>	<b>493 520</b>

Fuente: adaptado de Serpa (2014)

Tabla 0.5 Cantidad y ubicación de almacenes – total de damnificados (19 almacenes)

N°	Ubicación	Abastece a	Población	Fallecidos por rango	Heridos por rango	Total de damnificados
1	Ancón	Ancón	41 474	125	1 245	103 832
		San Juan de Lurigancho	1 138 453	9 108	93 354	
2	Ate	Ate	661 786	1 986	19 854	21 840
3	Breña	Jesús María	71 680	216	2 151	7 311
		Magdalena del Mar	54 925	440	4 504	
4	Carabayllo	Carabayllo	317 952	954	9 539	40 535
		Comas	537 263	1 612	16 118	
		Puente Piedra	373 062	1 120	11 192	
5	Chaclacayo	Chaclacayo	44 197	133	1 326	9 027
		Lurigancho	229 307	688	6 880	
6	Cieneguilla	Cieneguilla	49 707	50	498	548
7	El Agustino	El Agustino	195 304	1 954	23 437	25 391
8	Independencia	Independencia	220 372	662	6 612	7 274
9	La Molina	La Molina	179 785	540	5 394	13 798
		Santa Anita	238 290	715	7 149	
10	La Victoria	Breña	74 711	225	2 242	6 017
		Lince	49 064	148	1 472	
		San Luis	58 461	176	1 754	
11	Miraflores	Miraflores	81 619	653	6 693	7 346
12	Pueblo Libre	Pueblo Libre	76 129	229	2 284	2 513
13	Rímac	Rímac	162 897	1 304	13 358	14 662
14	San Borja	San Borja	112 712	1 128	13 526	14 654
15	San Isidro	San Isidro	53 460	428	4 384	4 812
16	San Martín de Porres	Los Olivos	384 711	1 155	11 542	12 697
17	San Miguel	Lima	265 693	2 126	21 787	26 659
		San Miguel	137 247	275	2 471	
18	Santiago de Surco	San Martín de Porres	729 974	5 840	59 858	129 600
		Barranco	28 970	232	2 376	
		Chorrillos	336 054	1 009	10 082	
		La Victoria	166 657	1 334	13 666	
		Santiago de Surco	357 577	2 861	29 322	
		Surquillo	91 474	275	2 745	
19	Villa María del Triunfo	San Juan de Miraflores	415 870	1 248	12 477	45 004
		Villa El Salvador	482 027	1 447	14 461	
		Villa María del Triunfo	465 735	1 398	13 973	
					<b>Total</b>	<b>493 520</b>

Fuente: adaptado de Serpa (2014)

## ANEXO 6: Cantidad necesaria de vehículos

Tabla 0.6 Cantidad necesaria de vehículos (16 almacenes)

N°	Ubicación	Abastece a	Total de damnificados	Volumen del kit (m <sup>3</sup> )	Capacidad volumétrica del vehículo (m <sup>3</sup> )	Número de kits por vehículo (m <sup>3</sup> )	Número de vehículos necesarios
1	Ancón	Ancón San Juan de Lurigancho	103 832	0.0175	32	1828	57
2	Ate	Ate	21 840	0.0175	32	1828	12
3	Carabaylo	Carabaylo Comas Puente Piedra	40 535	0.0175	32	1828	23
4	Chaclacayo	Chaclacayo Lurigancho	9 027	0.0175	32	1828	5
5	Cieneguilla	Cieneguilla Villa María del Triunfo	15 919	0.0175	32	1828	9
6	La Molina	Chorrillos La Molina Santa Anita	24 889	0.0175	32	1828	14
7	La Victoria	Breña La Victoria	17 467	0.0175	32	1828	10
8	Lima	Lima Pueblo Libre San Miguel	29 172	0.0175	32	1828	16
9	Los Olivos	Los Olivos	12 697	0.0175	32	1828	7
10	Pachacámac	San Juan de Miraflores	13 725	0.0175	32	1828	8
11	San Borja	San Borja San Luis	16 584	0.0175	32	1828	10
12	San Isidro	Jesús María Lince Magdalena del Mar Miraflores San Isidro Surquillo	24 109	0.0175	32	1828	14
13	San Juan de Lurigancho	El Agustino Rímac	40 053	0.0175	32	1828	22
14	San Martín de Porres	Independencia San Martín de Porres	72 972	0.0175	32	1828	40
15	Santiago de Surco	Barranco Santiago de Surco	34 791	0.0175	32	1828	20
16	Villa María del Triunfo	Villa El Salvador	15 908	0.0175	32	1828	9
			<b>493 520</b>				

Para la tabla 0.6, una vez más Ancón (que abastece a SJL) y San Martín de Porres representan la mayor cantidad de vehículos necesarios, de 57 y 40 respectivamente.

Tabla 0.7 Cantidad necesaria de vehículos (17 almacenes)

N°	Ubicación	Abastece a	Total de damnificados	Volumen del kit (m <sup>3</sup> )	Capacidad volumétrica del vehículo (m <sup>3</sup> )	Número de kits por vehículo (m <sup>3</sup> )	Número de vehículos necesarios
1	Ancón	Ancón San Juan de Lurigancho	103 832	0.0175	32	1828	57
2	Ate	Ate	21 840	0.0175	32	1828	12
3	Carabaylo	Carabaylo Comas Puente Piedra	40 535	0.0175	32	1828	23
4	Chaclacayo	Chaclacayo Lurigancho	9 027	0.0175	32	1828	5
5	Cieneguilla	Cieneguilla Villa María del Triunfo	15 919	0.0175	32	1828	9
6	La Molina	Chorrillos La Molina Santa Anita	24 889	0.0175	32	1828	14
7	La Victoria	Breña La Victoria	17 467	0.0175	32	1828	10
8	Lima	Lima Pueblo Libre	26 426	0.0175	32	1828	15
9	Los Olivos	Los Olivos	12 697	0.0175	32	1828	7
10	Pachacámac	San Juan de Miraflores	13 725	0.0175	32	1828	8
11	San Borja	San Borja San Luis	16 584	0.0175	32	1828	10
12	San Isidro	Jesús María Lince Magdalena del Mar Miraflores San Isidro Surquillo	24 109	0.0175	32	1828	14
13	San Juan de Lurigancho	El Agustino Rímac	40 053	0.0175	32	1828	22
14	San Martín de Porres	Independencia San Martín de Porres	72 972	0.0175	32	1828	40
15	San Miguel	San Miguel	2 746	0.0175	32	1828	2
16	Santiago de Surco	Barranco Santiago de Surco	34 791	0.0175	32	1828	20
17	Villa María del Triunfo	Villa El Salvador	15 908	0.0175	32	1828	9
			<b>493 520</b>				

Tabla 0.8 Cantidad necesaria de vehículos (18 almacenes)

N°	Ubicación	Abastece a	Total de damnificados	Volumen del kit (m <sup>3</sup> )	Capacidad volumétrica del vehículo (m <sup>3</sup> )	Número de kits por vehículo (m <sup>3</sup> )	Número de vehículos necesarios
1	Ancón	Ancón San Juan de Lurigancho	103 832	0.0175	32	1 828	57
2	Ate	Ate	21 840	0.0175	32	1 828	12
3	Breña	Jesús María Magdalena del Mar	7 311	0.0175	32	1 828	4
4	Carabaylo	Carabaylo Comas Puente Piedra	40 535	0.0175	32	1 828	23
5	Chaclacayo	Chaclacayo Lurigancho	9 027	0.0175	32	1 828	5
6	Cieneguilla	Cieneguilla	548	0.0175	32	1 828	1
7	El Agustino	El Agustino	25 391	0.0175	32	1 828	14
8	Independencia	Independencia	7 274	0.0175	32	1 828	4
9	La Molina	La Molina Santa Anita	13 798	0.0175	32	1 828	8
10	La Victoria	Breña Lince San Luis	6 017	0.0175	32	1 828	4
11	Miraflores	Miraflores	7 346	0.0175	32	1 828	5
12	Rímac	Rímac	14 662	0.0175	32	1 828	9
13	San Borja	San Borja	14 654	0.0175	32	1 828	9
14	San Isidro	San Isidro	4 812	0.0175	32	1 828	3
15	San Martín de Porres	Los Olivos	12 697	0.0175	32	1 828	7
16	San Miguel	Lima Pueblo Libre San Miguel	29 172	0.0175	32	1 828	16
17	Santiago de Surco	San Martín de Porres Barranco Chorrillos La Victoria Santiago de Surco Surquillo	129 600	0.0175	32	1 828	71
18	Villa María del Triunfo	San Juan de Miraflores Villa El Salvador Villa María del Triunfo	45 004	0.0175	32	1 828	25

493 520

Tabla 0.9 Cantidad necesaria de vehículos (19 almacenes)

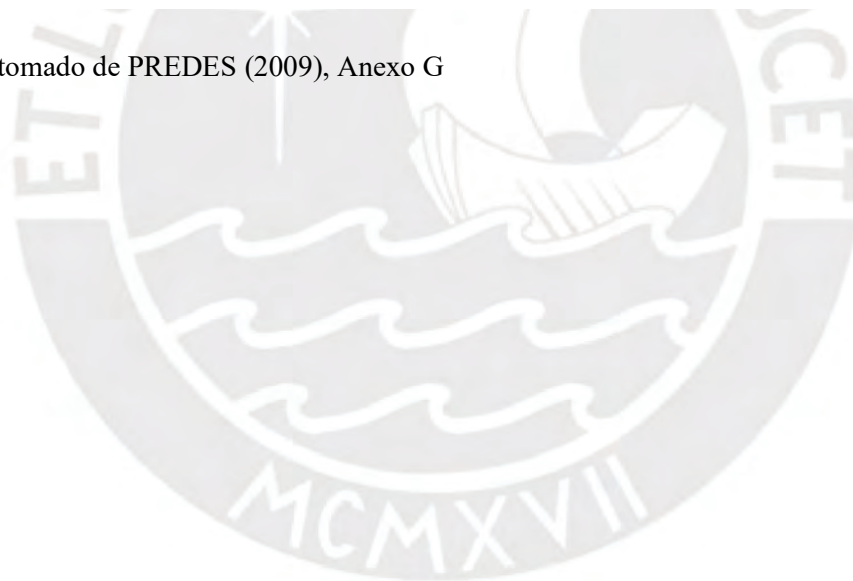
N°	Ubicación	Abastece a	Total de damnificados	Volumen del kit (m <sup>3</sup> )	Capacidad volumétrica del vehículo (m <sup>3</sup> )	Número de kits por vehículo (m <sup>3</sup> )	Número de vehículos necesarios
1	Ancón	Ancón San Juan de Lurigancho	103 832	0.0175	32	1 828	57
2	Ate	Ate	21 840	0.0175	32	1 828	12
3	Breña	Jesús María Magdalena del Mar	7 311	0.0175	32	1 828	4
4	Carabaylo	Carabaylo Comas Puente Piedra	40 535	0.0175	32	1 828	23
5	Chaclacayo	Chaclacayo Lurigancho	9 027	0.0175	32	1 828	5
6	Cieneguilla	Cieneguilla	548	0.0175	32	1 828	1
7	El Agustino	El Agustino	25 391	0.0175	32	1 828	14
8	Independencia	Independencia	7 274	0.0175	32	1 828	4
9	La Molina	La Molina Santa Anita	13 798	0.0175	32	1 828	8
10	La Victoria	Breña Lince San Luis	6 017	0.0175	32	1 828	4
11	Miraflores	Miraflores	7 346	0.0175	32	1 828	5
12	Pueblo Libre	Pueblo Libre	2 513	0.0175	32	1 828	2
13	Rímac	Rímac	14 662	0.0175	32	1 828	9
14	San Borja	San Borja	14 654	0.0175	32	1 828	9
15	San Isidro	San Isidro	4 812	0.0175	32	1 828	3
16	San Martín de Porres	Los Olivos	12 697	0.0175	32	1 828	7
17	San Miguel	Lima San Miguel	26 659	0.0175	32	1 828	15
18	Santiago de Surco	San Martín de Porres Barranco Chorrillos La Victoria Santiago de Surco Surquillo	129 600	0.0175	32	1 828	71
19	Villa María del Triunfo	San Juan de Miraflores Villa El Salvador Villa María del Triunfo	45 004	0.0175	32	1 828	25
			<b>493 520</b>				

ANEXO 7

Tabla 0.10 Niveles de vulnerabilidad potencial estimados por sector

Nº	Distrito	Código del Sector	Densidad				VUL POBLAC	Material de Vivienda Predom	VUL MATE	Tipo de vivienda predom	VUL VIV	Estado de conservación	VUL CONSER	Altura de Edificación predom VUL	Total	
			Población distrital	Población por zona	Área neta (Ha)	Densidad (Hab/Ha)										Tipo
1	LIMA		299.493,00		2.162,40	138,50										
	Lima 01	L1				138,50	Baja	1	Adobe	4	Quinta	3	Deteriorada	4	3	4
	Lima 02	L2				138,50	Baja	1	Albañilería	2	Quinta	3	Deteriorada	4	3	3
	Lima 03	L3				138,50	Baja	1	Albañilería	2	Edificio	2	Densificada	2	3	2
	Lima 04	L4				138,50	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2
	Lima 05	L5				138,50	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	1	1
	Lima 06	L6				138,50	Baja	1	Madera	1	Improvisada	4	Deteriorada	4	1	3
2	ANCON	AN	33.367,00		1.130,32	29,52	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2
3	ATE		478.278,00		4.360,13	109,69										
	Ate 01	A1	55.848,00	468,13	119,30	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2	
	Ate 02	A2	41.669,00	551,91	75,50	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2	
	Ate 03	A3	109.347,00	798,15	137,00	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2	
	Ate 04	A4	58.598,00	657,00	89,19	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	1	1	
	Ate 05	A5	53.977,00	921,11	58,60	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	En consolid	3	1	2	
	Ate 06	A6	158.838,00	963,82	164,80	Media Baja	2	Madera	1	Casa Indep	1	En consolid	3	1	2	
4	BARRANCO		33.903,00		274,52	123,50										
	Barranco 01	B2				123,50	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Densificada	2	2	2
	Barranco 02	B3				123,50	Baja	1	Adobe	4	Casa Indep	1	Deteriorada	4	2	3
5	BREÑA	BR	81.909,00		321,09	255,10	Media	2	Albañilería	2	Casa Indep	1	Deteriorada	4	2	2
6	CARABAYLLO	CR	213.386,00		2.547,28	83,77	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	En consolid	3	1	2
7	CHACLACAYO	CHA	41.110,00		768,12	53,52	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2
8	CHORRILLOS		286.977,00		3.033,26	94,61										
	Chorillos 01	CH1				94,61	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Deteriorada	4	2	2
	Chorillos 02	CH2				94,61	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2
	Chorillos 03	CH3				94,61	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	En consolid	3	1	2
	Chorillos 04	CH4				94,61	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	1	1
	Chorillos 05	CH5				94,61	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	En consolid	3	1	2
9	CIENEGUILLA	CI	26.725,00		1.310,05	20,40	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	1	1
10	COMAS	CO	486.977,00		3.310,52	147,10	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	En consolid	3	1	2

Fuente: tomado de PREDES (2009), Anexo G



## ANEXO 8

Figura 0.1 Vehículo de comando para atención de desastres de INDECI



Fuente: tomado de gob.pe (2025)

<https://www.gob.pe/institucion/indeci/noticias/1108329-indeci-entrega-puestos-de-comando-avanzado-a-las-ddi-de-piura-cusco-y-san-martin>