

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PROPUESTA DE LOCALIZACIÓN DE ALMACENES PARA LA
AYUDA HUMANITARIA ANTE HUAYCOS E INUNDACIONES EN
EL PERÚ UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE INVESTIGACIÓN DE
OPERACIONES**

Tesis para obtener el Título profesional de Ingeniero Industrial

AUTOR:

Jorge Diego Huaman Valera

ASESOR:

Jonatán Edward Rojas Polo


Lima, Agosto, 2023

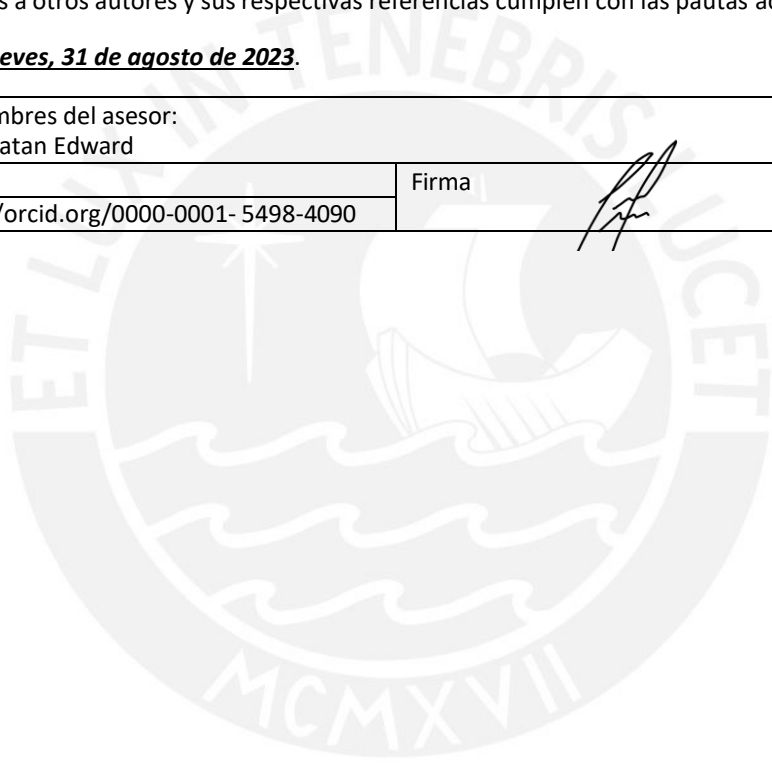
Informe de Similitud

Yo, Jonatan Edward Rojas Polo, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis titulado PROPUESTA DE LOCALIZACIÓN DE ALMACENES PARA LA AYUDA HUMANITARIA ANTE HUAYCOS E INUNDACIONES EN EL PERÚ UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES, del autor Jorge Diego Huamán Valera, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de **15%**. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el **31/08/2023**.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: jueves, 31 de agosto de 2023.

Apellidos y nombres del asesor: Rojas Polo, Jonatan Edward	
DNI: 42529429	Firma
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5498-4090	



Resumen

La presente tesis busca formular una propuesta de localización de almacenes temporales, que brinden ayuda humanitaria de manera rápida a la población afectada por huaicos e inundaciones causadas por el fenómeno de lluvias intensas en el Perú. La propuesta tiene como objetivo determinar el número de almacenes y su ubicación, así como los distritos que atenderá cada almacén y su capacidad.

Para desarrollar la propuesta, se realizaron los siguientes pasos: Primero, se revisaron escenarios probabilísticos para las zonas más afectadas por lluvias intensas durante los meses de enero a marzo (periodo donde este fenómeno se intensifica), siendo estas la costa y sierra sur del Perú; asimismo, se revisaron informes de análisis de vulnerabilidad para determinar la cantidad de personas afectadas a nivel de distrito. Luego, se aplicaron métodos de clustering para agrupar los distritos en base a su proximidad, y determinar así las ubicaciones de los posibles almacenes. A continuación, se formuló un modelo de programación lineal entera, cuyo objetivo era minimizar la distancia recorrida total (compuesta por las distancias entre distritos y almacenes, y la población vulnerable de cada distrito). Una vez definido el modelo, se corrieron varios escenarios variando la cantidad de almacenes a aperturar, y se realizó un análisis de los resultados. Se concluyó que, a medida que se aperturan más almacenes la distancia total recorrida disminuye, sin embargo, la distancia que se ahorra es cada vez menor. Se usaron estos resultados para proponer la instalación de 60 almacenes como mejor alternativa.

Finalmente, en base a la propuesta, se muestra el distrito donde estará ubicado cada almacén, la lista de distritos que deberá atender, así como la capacidad requerida en base a la demanda atendida.

Agradecimientos

A mis padres Iván y Beatriz, por estar para mí en todo momento, por enseñarme a nunca rendirme, y a ser una mejor persona cada día, nunca podré agradecerles lo suficiente por todo lo que me han dado.

A mi amigo y mentor Christian, por todo su apoyo y consejos.

A mis profesores, por contribuir a mi formación como profesional, por los conocimientos que me otorgaron, y por animarme a siempre seguir aprendiendo.

A todos mis amigos y compañeros, por las anécdotas que creamos y las veces en que me brindaron su ayuda, gracias por permitirme formar parte de sus vidas.

A mi universidad, por la experiencia vivida, las oportunidades que me brindaron y las maravillosas personas que pude conocer ahí.



Dedicatoria

La presente tesis está dedicada a mis familiares, especialmente a mis padres Iván y Beatriz, y a mis hermanas Maricelo y Camila, por todo el amor y apoyo que me han dado a lo largo de toda mi vida, por su paciencia, sus consejos, y por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad. Siempre los tengo presentes en mi vida, sin ustedes nada de esto sería posible.



Tabla de Contenidos

1. Capítulo 1. Marco Teórico	1
1.1. Conceptos Generales	1
1.1.1. Cadena de suministro	1
1.1.2. Logística	3
1.1.3. Logística humanitaria.....	3
1.1.4. Albergues temporales.....	4
1.1.5. Almacenes.....	4
1.1.6. Desastres	4
1.2. Desastres naturales.....	5
1.2.1. Efectos directos en la población	5
1.2.2. Lluvias intensas	5
1.2.3. Huaicos	6
1.2.4. Inundaciones.....	6
1.3. Gestión de riesgo de desastre	7
1.3.1. Fases de la gestión de riesgo de desastre.....	8
1.3.2. Actores.....	9
1.3.3. Plan de gestión logística.....	10
1.4. Investigación de operaciones.....	10
1.4.1. Fases de la investigación de operaciones	11
1.4.2. Programación lineal	11
1.4.3. Programación Entera	14
1.4.4. Programación Heurística.....	15
1.5. Clustering	15
1.5.1. Algoritmos de clustering	16
1.5.2. Identificación del número óptimo de clústeres	18
1.5.3. Métricas de evaluación de clúster	20
2. Capítulo 2. Estudio de Casos	23
2.1. Determinación de la ubicación de almacenes para la distribución de ayuda humanitaria en Nepal (Maharjan & Hanaoka, 2016)	23
2.1.1. Contexto	23
2.1.2. Problemas	23
2.1.3. Propuesta de mejora	23
2.1.4. Resultados	25
2.2. Un programa matemático multiobjetivo para determinar la ubicación de centros de distribución en respuesta a desastres (Yilmaz & Kabak, 2016).....	27

2.2.1.	Contexto	27
2.2.2.	Problema	27
2.2.3.	Propuesta de mejora	27
2.2.4.	Resultados	30
2.3.	El problema de la ubicación de los almacenes de suministros de socorro basado en la cooperación regional (Chen, Zhao, Wang, & Dessouky, 2016).....	31
2.3.1.	Contexto	31
2.3.2.	Problemas	31
2.3.3.	Propuesta de mejora	31
2.3.4.	Resultados	34
3.	Capítulo 3. Análisis de la Situación en el Perú	36
3.1.	Desastres naturales en el Perú	36
3.1.1.	Causas	36
3.1.2.	Fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS)	36
3.1.3.	Lluvias en el Perú	38
3.1.4.	Principales consecuencias.....	39
3.2.	Escenarios de riesgo	39
3.2.1.	Escenarios probabilísticos de lluvias para el verano 2021	39
3.2.2.	Probabilidad de ocurrencia del fenómeno El Niño – La Niña para el verano 2021... ..	41
3.2.3.	Escenarios de riesgo por superávit de lluvias en la costa y sierra sur del Perú para el verano 2021.....	41
3.2.4.	Análisis para el verano 2022	45
3.3.	Plan de respuesta	46
3.3.1.	Planes relacionados a la gestión de riesgo de desastres	46
3.3.2.	Plan de contingencia nacional ante lluvias intensas	49
4.	Capítulo 4. Análisis de la Costa y Sierra sur del Perú	52
4.1.	Aspectos principales	52
4.2.	Departamento de Cusco	53
4.2.1.	Características geográficas	53
4.2.2.	Aspectos sociales	53
4.2.3.	Análisis de riesgo	55
4.3.	Departamento de Arequipa	56
4.3.1.	Características geográficas	56
4.3.2.	Aspectos sociales	57
4.3.3.	Análisis de riesgo	58
4.4.	Departamento de Ayacucho	59

4.4.1.	Características geográficas	59
4.4.2.	Aspectos sociales	59
4.4.3.	Análisis de riesgo	61
4.5.	Departamento de Apurímac	62
4.5.1.	Características geográficas	62
4.5.2.	Aspectos sociales	62
4.5.3.	Análisis de riesgo	63
4.6.	Departamento de Ica	64
4.6.1.	Características geográficas	64
4.6.2.	Aspectos sociales	64
4.6.3.	Análisis de riesgo	66
4.7.	Departamento de Moquegua	66
4.7.1.	Características geográficas	66
4.7.2.	Aspectos sociales	66
4.7.3.	Análisis de riesgo	67
4.8.	Departamento de Puno	68
4.8.1.	Características geográficas	68
4.8.2.	Aspectos sociales	68
4.8.3.	Análisis de riesgo	70
4.9.	Departamento de Tacna	71
4.9.1.	Características geográficas	71
4.9.2.	Aspectos sociales	71
4.9.3.	Análisis de riesgo	72
5.	Capítulo 5. Propuesta de distribución de almacenes.....	74
5.1.	Modelo de clustering	74
5.2.	Modelo de programación entera.....	82
5.2.1.	Construcción del modelo	86
6.	Capítulo 6. Análisis de resultados	89
6.1.	Análisis de los escenarios.....	89
6.2.	Elección de la cantidad óptima de almacenes	92
7.	Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones.....	99
7.1.	Conclusiones	99
7.2.	Recomendaciones.....	100
	Referencia Bibliográfica	101
	Anexos	106
Anexo 1.	Lista completa de distritos.....	106

Anexo 2. Alternativas de propuestas para 39, 42, 45, 48, 51, 57, 60, 63, 66 y 69 almacenes.

..... 124



Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Ejemplo de algoritmo KMeans. Fuente: Blog Exponentis (2019).....	17
Ilustración 2. Esquema general plan nacional GRD (2014-2021) Fuente: PLANAGERD (2014)	47
Ilustración 3. Principales criterios de jerarquización de los Almacenes. Fuente: INDECI, Plan logístico (2021). Elaboración propia.....	49
<i>Ilustración 4. Evaluación del rendimiento de clustering para diferentes valores de k. Vista general (izquierda) y vista acercada (derecha)</i>	<i>80</i>



Índice de Figuras

Figura 1. Principales actores dentro de una cadena de suministro. Fuente: Calatayud & Katz (2019)	2
Figura 2. Interdependencia de las funciones de logística, compras y operaciones. Fuente: Stanton (2021). Elaboración Propia	2
<i>Figura 3. Calle de Huachipa, después de un huaico. Fuente: BBC (2017).....</i>	<i>6</i>
Figura 4. Inundaciones en el norte del Perú, marzo 2020. Fuente: Epicentro Chile (2020).	7
Figura 5. Logística humanitaria y fases en la cadena de suministro de emergencia. Fuente: Cozzolino (2012). Elaboración Propia	8
Figura 6. Representación del modelo de transporte con nodos y arcos. Fuente: (Taha, 2012)	15
Figura 7. Dendograma con 3 clústeres. Fuente: Universidad Autónoma de Madrid (2020).	18
Figura 8. Aplicación del método del codo. Fuente: Jyoti Yadav (2019)	19
Figura 9. Aplicación del método de silueta. Fuente: Elaboración propia.....	20
Figura 10. Ubicación de almacenes para escenarios de 100, 200 y 300 km. Fuente: Maharjan & Hanaoka (2016)	26
Figura 11. Cobertura de almacenes para escenarios de 100 Km, 200 Km y 300 Km. Fuente: Maharjan et al. (2016)	26
Figura 12. Ejemplo de Cooperación Regional. Fuente: Chen et. al. (2016).....	32
Figura 13. Ubicaciones óptimas de almacén de suministro de emergencia para emergencias. Fuente: Chen et. al. (2016)	35
<i>Figura 14. Proceso de formación del Fenómeno El Niño. Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2020)</i>	<i>38</i>
Figura 15. Pronóstico de lluvias en la costa y sierra sur (enero - marzo 2020). Fuente: SENAMHI, 2020	41
Figura 16. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del ámbito del pronóstico de lluvias para enero - marzo 2021. Fuente: SENAMHI (2020).....	43
Figura 17. Mapa del escenario de riesgo por movimientos en masa para el verano 2021, correspondiente a la costa y sierra sur. Fuente: CENEPRED (2020).....	44
Figura 18. Mapa de susceptibilidad por inundaciones del ámbito del pronóstico de lluvias. Fuente: SENAMHI (2020)	44
Figura 19. Mapa del escenario de riesgo por inundaciones para el verano 2021, correspondiente a la costa y sierra sur. Fuente: CENEPRED (2020).....	45
Figura 20. Gráfico de dispersión de los distritos de la costa y sierra sur del Perú	76
Figura 21. Gráfico de dispersión de los distritos de la costa y sierra sur del Perú según tamaño de población vulnerable	76
Figura 22. Código para aplicar el método del codo	77
Figura 23. Gráfica del método del codo	77
Figura 24. Código para aplicar el método de la silueta	78
<i>Figura 25. Análisis de clústeres utilizando el método de la silueta</i>	<i>79</i>
Figura 26. Clustering utilizando el algoritmo KMeans.	81
Figura 27. Distancia ortodrómica entre dos puntos de una esfera. Fuente: Wikipedia	84
Figura 28. Código utilizado para obtener la distancia ortodrómica dadas las coordenadas de dos puntos.	85
Figura 29. Código del archivo .mod que contiene la programación del modelo usando el programa AMPL.....	88

Figura 30. Curva distancia ponderada total vs. Número de almacenes..... 92
Figura 31. Distribución de los 60 almacenes y los distritos que atienden 96



Índice de Tablas

Tabla 1. Resultados para cada objetivo.....	29
Tabla 2. Resultados del modelo de programación por metas	30
Tabla 3. Resultados totales normalizados para cada objetivo.....	31
Tabla 4. Resultados de la cooperación y no cooperación para el caso de estudio	35
Tabla 5. Impacto de desastres en la población y viviendas según tipo de peligro (2003-2019)	39
Tabla 6. Valores de probabilidad por regiones según categorías (Inferior, Normal y Superior) del pronóstico de lluvias para el trimestre enero – marzo 2021	40
Tabla 7. Probabilidades estimadas de las magnitudes de El Niño - La Niña en el Pacífico oriental (región Niño 1 + 2, frente a la costa norte del Perú) en el verano diciembre 2020 - marzo 2021	41
Tabla 8. Valores de probabilidad por regiones según categorías (Inferior, Normal y Superior) del pronóstico de lluvias para el trimestre enero – marzo 2022	46
Tabla 9. Distribución de almacenes a nivel nacional.....	48
Tabla 10. Resumen de bienes de ayuda humanitaria distribuidas por el INDECI en el 2020.....	49
Tabla 11. Cusco. Población censada y tasa de crecimiento anual según provincia, 2017.	54
Tabla 12. Cusco. Viviendas particulares y precarias a nivel provincia, 2017	54
Tabla 13. Cusco. Establecimientos de salud y centros de educación por provincias.....	55
Tabla 14. Cusco. Población expuesta a inundaciones y movimientos en masa, enero-marzo 2021.....	56
Tabla 15. Arequipa. Población censada y tasa de crecimiento anual según provincia, 2017.....	57
Tabla 16. Arequipa. Viviendas particulares y precarias a nivel provincia, 2017.....	57
Tabla 17. Arequipa. Establecimientos de salud y centros educativos por provincia.....	58
Tabla 18. Arequipa. Población expuesta a inundaciones y movimientos en masa, enero-marzo 2021.....	58
Tabla 19. Ayacucho. Población censada y tasa de crecimiento anual según provincia, 2017.....	59
Tabla 20. Ayacucho. Viviendas particulares y precarias a nivel provincia, 2017.....	60
Tabla 21. Ayacucho. Establecimientos de salud y centros educativos por provincia	60
Tabla 22. Ayacucho. Población expuesta a inundaciones y movimientos en masa, enero-marzo 2021.....	61
Tabla 23. Apurímac. Población censada y tasa de crecimiento anual según provincia, 2017.....	62
Tabla 24. Apurímac. Viviendas particulares y precarias a nivel provincia, 2017	63
Tabla 25. Apurímac. Cantidad de centros de salud y centros educativos.....	63
Tabla 26. Apurímac. Población expuesta a inundaciones y movimientos en masa, enero-marzo 2021.....	64
Tabla 27. Ica. Población censada y tasa de crecimiento anual según provincia, 2017	65
Tabla 28. Ica. Viviendas particulares y precarias a nivel provincia, 2017	65
Tabla 29. Ica. Cantidad de centros de salud y centros educativos.....	65
Tabla 30. Ica. Población expuesta a inundaciones y movimientos en masa, enero-marzo 2021.....	66
Tabla 31. Moquegua. Población censada y tasa de crecimiento anual según provincia, 2017.....	67

Tabla 32. Moquegua. Viviendas particulares y precarias a nivel provincia, 2017.....	67
Tabla 33. Cantidad de centros de salud y centros educativos.....	67
Tabla 34. Moquegua. Población expuesta a inundaciones y movimientos en masa, enero-marzo 2021	68
Tabla 35. Puno. Población censada y tasa de crecimiento anual según provincia, 2017	68
Tabla 36. Puno. Viviendas particulares y precarias a nivel provincia, 2017	69
Tabla 37. Puno. Cantidad de centros de salud y centros educativos.....	69
Tabla 38. Puno. Población expuesta a inundaciones y movimientos en masa, enero-marzo 2021.....	70
Tabla 39. Tacna. Población censada y tasa de crecimiento anual según provincia, 2017.	71
Tabla 40. Tacna. Viviendas particulares y precarias a nivel provincia, 2017	72
Tabla 41. Tacna. Cantidad de centros de salud y centros educativos	72
Tabla 42. Tacna. Población expuesta a inundaciones y movimientos en masa, enero-marzo 2021	72
Tabla 43. Cantidad de provincias, distritos y almacenes por departamento	74
Tabla 44. Estructura de la base de datos para clustering.....	75
Tabla 45. Resultado de la evaluación del rendimiento de clustering	80
Tabla 46. Lista de almacenes y sus ubicaciones teóricas	81
Tabla 47. Estructura de la matriz de distancias (km.) entre distrito y almacén.....	83
Tabla 48. Estructura de la matriz de distancias ortodrómicas (km.) entre distrito y almacén	85
Tabla 49. Estructura de la matriz de distancias ortodrómicas (km.) entre distritos.....	85
Tabla 50. Propuesta de distribución de almacenes usando 36 almacenes.....	89
Tabla 51. Propuesta de distribución de almacenes usando 54 almacenes.....	89
Tabla 52. Propuesta de distribución de almacenes usando 72 almacenes.....	90
Tabla 53. Distancia ponderada total según la cantidad de almacenes	91
Tabla 54. Ahorro de distancia total recorrida en cada intervalo.....	92
Tabla 55. Propuesta de 60 almacenes.	93
Tabla 56. Detalle de los almacenes a instalar.....	96
Tabla 57. Base de datos de todos los distritos.....	106
Tabla 58. Propuesta de distribución de almacenes usando 39 almacenes.....	124
Tabla 59. Propuesta de distribución de almacenes usando 42 almacenes.....	124
Tabla 60. Propuesta de distribución de almacenes usando 45 almacenes.....	125
Tabla 61. Propuesta de distribución de almacenes usando 48 almacenes.....	125
Tabla 62. Propuesta de distribución de almacenes usando 51 almacenes.....	126
Tabla 63. Propuesta de distribución de almacenes usando 57 almacenes.....	126
Tabla 64. Propuesta de distribución de almacenes usando 60 almacenes.....	127
Tabla 65. Propuesta de distribución de almacenes usando 63 almacenes.....	128
Tabla 66. Propuesta de distribución de almacenes usando 66 almacenes.....	128
Tabla 67. Propuesta de distribución de almacenes usando 69 almacenes.....	129

1. Capítulo 1. Marco Teórico

En este capítulo se define la logística humanitaria y sus conceptos relacionados como la logística, la cadena de suministro, los desastres naturales y el manejo de estos. Asimismo, se define la investigación de operaciones, sus principales características y su aplicación en la creación de modelos de optimización. Por último, se define la técnica de clustering (utilizada en el análisis de datos) y sus algoritmos relacionados.

1.1. Conceptos Generales

A continuación se definen los principales conceptos relacionados a la logística humanitaria.

1.1.1. Cadena de suministro

Las actividades comprendidas en una cadena de suministro van desde el desarrollo de un producto o servicio, pasando por las compras, el almacenamiento, hasta la entrega o prestación del servicio al consumidor final (Calatayud & Katz, 2019). Mientras la logística es un proceso interno de la empresa centrado en la optimización del flujo de los productos y los recursos utilizados, la cadena de suministro va más allá generando una ventaja competitiva para todas las actividades que abarca (Iglesias, 2020; Carreño, 2017).

En la cadena de suministro participan proveedores de insumos de nivel 1 y 2, empresas fabricantes y canales de distribución mayoristas y minoristas (Calatayud & Katz, 2019). También se encuentran actores que brindan apoyo en el manejo de información y envío de productos, a través de servicios financieros, logísticos y tecnológicos (Calatayud & Katz, 2019). La figura 1 muestra un esquema de los principales actores de la cadena de suministro.

También se puede describir a la cadena de suministro como la integración de tres funciones dentro de una organización: compras, logística y operaciones (Stanton, 2021). Cada función es fundamental en cualquier empresa y cada una tiene sus propias métricas. Debido a que estas funciones son interdependientes, tomar buenas decisiones en cualquiera de estas áreas requiere coordinación con las otras dos. La figura 2 muestra la interdependencia de las tres funciones.

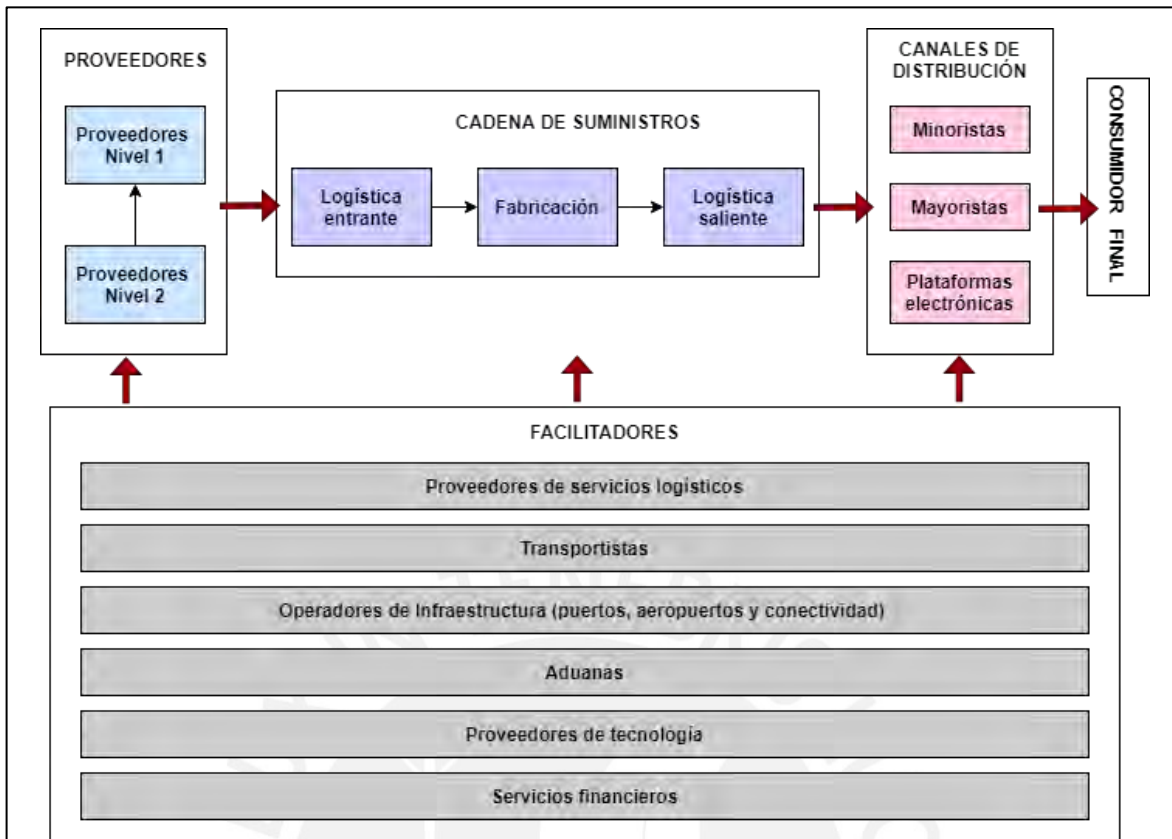


Figura 1. Principales actores dentro de una cadena de suministro. Fuente: Calatayud & Katz (2019).

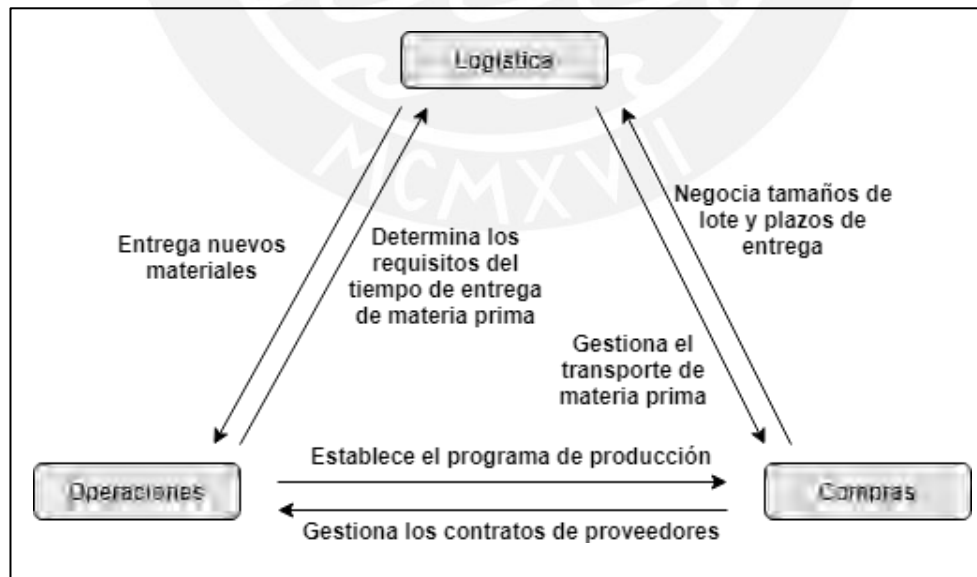


Figura 2. Interdependencia de las funciones de logística, compras y operaciones. Fuente: Stanton (2021). Elaboración Propia.

1.1.2. Logística

La logística se refiere al conjunto de procedimientos planificados, implementados y controlados a fin de garantizar un correcto transporte y almacenamiento de bienes, servicios e información, buscando satisfacer los requerimientos del cliente. Esto incluye movimientos tanto de entrada como de salida. (Council of Supply Chain Management Professionals, 2013).

La importancia de la logística radica en la mejora del servicio al cliente, mediante la optimización del *marketing* y transporte a un bajo costo (Mora, 2016). A nivel de gerencia, además del almacenamiento y transporte, están involucrados la ubicación de plantas, la cantidad de inventario, los KPIs y el manejo de información (Mora, 2016).

1.1.3. Logística humanitaria

El manejo logístico en la cadena de suministro puede ser un elemento valioso para la ayuda humanitaria. Para Apte, la logística humanitaria se encarga de administrar la entrega de bienes y servicios en momentos cruciales, caracterizados por incrementos repentinos de la demanda, tiempos de respuesta rápidos, suministros inciertos ante infraestructuras vulnerables, y con operaciones de gran alcance y tamaño (Apte, 2010). La logística permite a las organizaciones implementar acciones de respuesta que sean ágiles y efectivas, involucrando al personal, equipo y material necesario (OPS, 2001). En un contexto de desastre, es de vital importancia garantizar una entrega efectiva, de modo que tanto los bienes como el personal lleguen a las víctimas (Cozzolino, 2012).

La mejora del rendimiento logístico implica una gestión integrada de todas las relaciones entre los actores implicados, con el fin de coordinar de manera efectiva y eficiente el desempeño interorganizacional, eliminar la redundancia y maximizar la efectividad en la cadena (Cozzolino, 2012). Según la Organización Panamericana de la Salud (2001), la cadena logística humanitaria está conformada por:

- **Abastecimiento:** Colocar a disposición de las organizaciones pertinentes, los recursos para satisfacer las necesidades identificadas, así como los métodos de obtención.
- **Transporte:** La manera de llevar los suministros al lugar requerido, considerando los medios y alternativas disponibles para una entrega segura y rápida.
- **Almacenamiento:** Permite salvaguardar los suministros hasta que lleguen a su destino final y anticipar suministros de cantidades adicionales para futuras necesidades.

- **Distribución:** Se trata del reparto de bienes a los damnificados por desastres o a las instituciones encargadas de administrarlos de forma proporcional, equitativa y controlada, con el fin de evitar el abuso y desperdicio.

1.1.4. Albergues temporales

Según el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), los albergues temporales son lugares que brindan alojamiento, comida, refugio y protección a aquellos afectados por un desastre o emergencia. Estos sirven como un espacio temporal hasta que las viviendas afectadas puedan habitarse de nuevo. La planificación y correcto uso de estos albergues debe efectuarse con tiempo y de manera coordinada por las autoridades nacionales, regionales y locales responsables (INDECI, 2017). Los albergues temporales, dependiendo de las personas que alojan, se pueden clasificar en: familiares, en infraestructura existente, y comunitarios.

1.1.5. Almacenes

Un almacén se puede definir como un lugar construido específicamente para guardar, manipular y proteger materias primas, productos semielaborados y/o terminados. Está diseñado para recibir, custodiar, controlar, reacondicionar y enviar los productos de manera segura y eficiente (Soler, 2009). Esto permite equilibrar la oferta y demanda, reducir costes y completar el proceso productivo (Brenes, 2015). Según Brenes (2015) para una eficiente localización y manejo de los materiales almacenados, es necesario:

- Usar de manera óptima el espacio, maximizando el volumen disponible.
- Generar costos mínimos durante el proceso de almacenaje.

La clasificación de un almacén puede ser diferente según el marco jurídico de la estructura, los requerimientos particulares de una compañía, su estructura interna, la forma de operar y la zona de influencia del almacén. (Flamarique, 2017).

1.1.6. Desastres

Un desastre puede ser definido como una interrupción que daña un sistema y pone en riesgo sus prioridades y propósitos. Puede ser clasificado de acuerdo con su causa: de forma natural o por intervención humana; así como también de acuerdo con su capacidad de ser previsto y la velocidad con la que ocurre: con inicio lento o repentino. (Van-Wassenhove, 2006).

1.2. Desastres naturales

Se define como un impacto rápido, instantáneo o profundo del entorno natural sobre el sistema socioeconómico (Alexander, 2017). Estos hacen hincapié en los recursos de los gobiernos locales y estatales de diversas maneras, entre las principales están: la vigilancia policial, los servicios de emergencia, el saneamiento, los servicios sociales y humanos, la educación, la vivienda, los servicios médicos y de bomberos, y en todas las demás funciones imaginables del gobierno (Adams & Wood, 2021).

1.2.1. Efectos directos en la población

Comprender los diferentes efectos ocasionados por los desastres permitirá una mejor administración de las campañas humanitarias y los recursos disponibles (OPS, 2001). Según la Organización Panamericana de la Salud (2001) los efectos más comunes ocasionados por desastres naturales son:

- **Desplazamiento de la población:** En situaciones donde las viviendas resultan mayormente destruidas por un desastre, puede ocurrir que las personas afectadas busquen refugio en las casas de familiares y amigos, produciéndose grandes desplazamientos de personas dentro de las mismas áreas urbanas.
- **Alimentación y nutrición:** La falta de alimentos después del desastre puede deberse a los almacenes de comida colapsados, la pérdida personal y la falta de organización a la hora de distribuirlos; impidiendo acceder a dichos bienes, incluso en situaciones donde no se presenta total escasez.
- **Suministro de agua y servicios de limpieza:** La suspensión de los servicios de suministro de agua y saneamiento trae consigo grandes problemas para la salud. La falta de agua y el nivel de calidad de esta, sumado a la incapacidad para eliminar los residuos humanos generan un deterioro en los servicios de saneamiento que aumenta el riesgo de enfermedades.
- **Daños a la infraestructura:** Los desastres naturales pueden poner en riesgo la vida de los pacientes en los establecimientos de salud, y restringir al personal para brindar atención a las víctimas. Además, estos eventos afectan la infraestructura, los equipos y otros recursos que son necesarios para recibir, almacenar y distribuir suministros médicos.

1.2.2. Lluvias intensas

La Organización Mundial Meteorológica define la lluvia como la precipitación de partículas

líquidas de agua que caen de una nube. La naturaleza e intensidad de la precipitación afecta la densidad y tamaño de las gotas (Organización Mundial Meteorológica, 2019) En ese sentido, las lluvias intensas son precipitaciones de agua que caen con mayor velocidad y de manera continua (INDECI, 2018).

1.2.3. Huaicos

El término huaico deriva de la palabra quechua “huayco” cuya traducción es ‘quebrada’. Los huaicos son fenómenos naturales producidos por desprendimiento de piedras en cuevas con pendiente pronunciada; así como en acantilados, donde la formación de rocas y la presencia de agua es favorable. Son peligrosos debido al daño que generan a la población, considerando la destrucción de infraestructuras y el impacto en las actividades económicas de la región (Ministerio del Ambiente, 2015). En la figura 3 se observa los resultados de un huaico ocurrido en Huachipa, Lima Este, en 2017.



Figura 3. Calle de Huachipa, después de un huaico. Fuente: BBC (2017).

1.2.4. Inundaciones

Las inundaciones se definen como la invasión del agua en zonas o áreas que normalmente se encontrarían secas, producto de un aumento de caudal del río o cauce. Los daños de las inundaciones varían dependiendo del área en la que se desborda el cauce, y cómo afectan a la población, agricultura, ganadería y/o infraestructura (INDECI, 2006).

Las inundaciones más frecuentes se producen durante la temporada de lluvias, ocasionando una crecida de los ríos. En las llanuras, donde se produce en mayor medida, el río logra pendientes de 0 a 5%. Las viviendas de adobe son una de las más afectadas por las inundaciones, del mismo modo los sistemas de alcantarillado y recolección de agua terminan colapsando (Ministerio del Ambiente, 2015). La figura 4 muestra el resultado de lluvias fuertes en el norte del Perú, en el año 2020.



Figura 4. Inundaciones en el norte del Perú, marzo 2020. Fuente: Epicentro Chile (2020).

1.3. Gestión de riesgo de desastre

Debido a la incertidumbre y complejidad que está presente a la hora de brindar ayuda en situaciones de desastres, es importante una adecuada gestión con el fin de llevar a cabo mejores respuestas (Tomasini & Van-Wassenhove, 2009). En ese sentido, se debe estar preparado e identificar los problemas cuando aparecen, así como brindar los suministros específicos cuando y donde sean necesarios. (OPS, 2001).

1.3.1. Fases de la gestión de riesgo de desastre

La gestión de desastres está compuesta por cuatro fases: Mitigación, preparación, respuesta y reconstrucción; formando el denominado “ciclo de gestión de desastres”. De estas, la logística está involucrada principalmente en la preparación, respuesta y reconstrucción; constituyendo el “flujo logístico humanitario” (Cozzolino, 2012). En la figura 5 se observa un esquema de las fases.



Figura 5. Logística humanitaria y fases en la cadena de suministro de emergencia.
Fuente: Cozzolino (2012). Elaboración Propia.

- La fase de preparación ve procedimientos que suceden previos a un desastre, ideando estrategias que implementen una respuesta operativa favorable. Esta fase es importante ya que establece el esquema de una red física, la estructura de tecnologías de información y comunicación, y los cimientos para la cooperación.
- La fase de respuesta ve los procedimientos a implementar al momento que sucede un desastre. Esta fase consta de dos subfases: respuesta inmediata y restauración (Cozzolino, 2012).
- La fase de reconstrucción ve los procedimientos que ocurren después del desastre, con una perspectiva a largo plazo. Los efectos de un desastre pueden mantenerse durante mucho tiempo y tener graves consecuencias para la población afectada. También, pueden repercutir en la gestión de las empresas (Kovács & Spens, 2007).

1.3.2. Actores

La organización entre los participantes de las actividades de asistencia en un desastre es importante para aprovechar el conocimiento y los recursos disponibles al máximo (OPS, 2001). Bajo esa premisa, la Organización Panamericana de la Salud define los siguientes actores clave:

- Población local y comunidades vecinas: Los habitantes de la zona afectada y regiones vecinas, quienes reciben ayuda en primer lugar.
- Gobierno nacional (o local): son los activadores del flujo logístico humanitario después de un desastre, con el poder de aprobar las operaciones y trasladar recursos. Salvo las agencias nacionales de ayuda y el ejército, ningún otro actor puede operar sin la autorización del gobierno.
- Gobiernos extranjeros: Brindan ayuda a través de las embajadas en el país. Esta ayuda puede darse mediante donaciones de recursos, efectivo o financiamiento de proyectos. También pueden enviar personal especializado.
- Agencias multilaterales: Son organizaciones compuestas por gobiernos, un ejemplo son las Naciones Unidas. Sus principales aportes en situaciones de desastres son: brindar asistencia técnica, personal especializado y apoyar en la obtención y distribución de recursos.
- Organizaciones no gubernamentales (ONG): La forma de otorgar ayuda, experiencia y recursos es muy variada. Hay ONG especializadas con capacidades y recursos adecuados para situaciones de emergencia.
- Sector privado, comercial, nacional e internacional: la forma de ayuda va desde brindar donativos hasta contratar servicios de expertos (transporte, alquiler de almacenes, proveedores de alimentos, suministro de electricidad, soluciones de ingeniería, apoyo bancario, servicios postales, etc.).
- Instituciones especializadas: Pueden brindar asistencia técnica como: evaluación de vulnerabilidad y minimización de riesgos, análisis de necesidades, purificación de agua, gestión de suministros de medicina, entre otros.
- Organizaciones militares: Generalmente proveen de equipo, personal y experiencia para brindar soporte a operaciones de carácter logístico, entre ellos transporte, creación de puentes y caminos, mano de obra, entre otros.

1.3.3. Plan de gestión logística

Para una adecuada planeación logística es importante conocer aspectos geográficos, sociales, políticos y físicos del lugar donde se llevarán a cabo las operaciones. También se debe contar con una guía de implementación y operaciones adecuada (OPS, 2001). La Organización Panamericana de la Salud contempla las siguientes actividades principales:

- **Análisis de vulnerabilidad de infraestructura:** Comprende las actividades de ubicación y comprobación de elementos importantes de la red nacional de transportes, análisis del historial climático y constantes monitoreos de construcciones que puedan generar bloqueos o desviaciones por un periodo de tiempo.
- **Disponibilidad de recursos estratégicos para apoyo logístico:** Comprende las actividades de inventario y localización de suministros que pueden ser requeridos en un contexto de emergencia, así como medios de transporte para el traslado de provisiones y personas.
- **Revisión de políticas, planes y preparativos gubernamentales:** Es de suma importancia que los diversos organismos que participan de las funciones de asistencia coordinen en todo momento con el gobierno, quien es el principal responsable.

1.4. Investigación de operaciones

La investigación de operaciones tiene su base en el modelamiento matemático. Analiza y detalla las condiciones puntuales que se necesitan para poder resolver un problema. Los modelos matemáticos pueden clasificarse en determinístico y estocástico en basados en la probabilidad de ocurrencia. En los modelos de carácter determinístico, existe cierta certeza de ocurrencia y puede clasificarse a su vez en problemas de programación lineal y no lineal. Por otro lado, los modelos de carácter estocástico son modelos completamente probabilísticos (Alzate, 2018).

En la investigación de operaciones no se cuenta con alguna técnica general que resuelva cualquier modelo, sino que el método de solución es determinado por el tipo y complejidad del modelo mismo (Taha, 2012). En ese sentido, existen diversos algoritmos y herramientas que permiten obtener una solución óptima o lo más cercana posible. Un algoritmo es un conjunto de reglas de cálculo fijas que se aplican repetidas veces a un problema, donde cada iteración acerca la solución a una solución óptima. Ejemplo de

algoritmos son el método simplex, el método gráfico, los metaheurísticos, entre otros (Martínez, Vértiz, López, Jiménez, & Moncayo, 2014).

1.4.1. Fases de la investigación de operaciones

Las principales fases de la investigación de operaciones son:

- Definición del problema: establece el alcance del problema, identificando las variables de decisión, la función objetivo y las restricciones bajo las cuales el sistema funciona.
- Construcción del modelo: transforma el problema en relaciones matemáticas. En caso el problema pueda ajustarse a un modelo conocido, como la programación entera o lineal, este puede ser resuelto mediante la aplicación de algoritmos conocidos. En cambio, si resulta ser muy complejo, el problema puede ser simplificado y emplear un método heurístico; así como también, emplear la simulación como alternativa (Taha, 2012).
- Solución del modelo: resuelve el modelo y obtiene un resultado válido. También se lleva a cabo un análisis de sensibilidad que consiste en analizar el comportamiento de la solución frente a la variación de parámetros del sistema.
- Validación del modelo: Valida que el modelo represente correctamente al sistema estudiado.
- Implementación de la solución: Transforma los resultados en términos claros para los encargados de aplicar el sistema modelado.

1.4.2. Programación lineal

La programación lineal se utiliza en el modelado de problemas cuyo objetivo radica en la maximización o minimización de una función lineal con una o más variables. Esta función es llamada función objetivo, y está sujeta a una o más restricciones, expresadas como igualdades o desigualdades (Martínez, Vértiz, López, Jiménez, & Moncayo, 2014). En general, en los problemas relacionados con temas de producción, utilidad o calidad, se busca maximizar un valor, mientras que en aquellos relacionados con costo y uso de bienes o recursos, se busca minimizar (Alzate, 2018).

Existen algunas condiciones que deben cumplirse a la hora de resolver un problema de programación lineal (Fedossova, Buitrago, & Britto, 2011):

- Proporcionalidad: Las variables solo pueden tener exponente 1 tanto en las restricciones como en la función objetivo. Pero pueden estar multiplicadas por un coeficiente.
- Aditividad: No está permitida la multiplicación entre variables, sino que cada función lineal está formada por la adición de las variables multiplicadas por algún coeficiente.
- Divisibilidad: Los valores que pueden tomar las variables no se limitan a números enteros, mientras este valor cumpla con las restricciones.
- Certidumbre: todos los parámetros son constantes conocidas.

a) Elementos de un problema de PL

Todo modelo matemático utilizado para resolver un problema de programación lineal se compone de cuatro secciones (Alzate, 2018):

- Variables de decisión: son variables que representan información desconocida y cuya solución permitirá resolver el problema; usualmente son expresadas como letras X, Y, Z o x_i , con i igual a 1, 2, ..., n.
- Función objetivo: Es una función lineal que representa el objetivo del problema, siendo este la maximización o minimización de dicha función. En la programación lineal, sus coeficientes se conocen con certeza.
- Restricciones: Son limitaciones establecidas para llevar al límite el uso de los recursos. En la programación lineal, estos se conocen con certeza.
- Condiciones de no negatividad: Son restricciones que fuerzan a las variables de decisión tomar valores mayores o iguales a cero $x_i \geq 0$.

Definir correctamente las variables de decisión es crucial para plantear una función objetivo y unas restricciones acordes al problema.

b) Aplicaciones

La programación lineal se usa para dar solución a problemas relacionados al transporte, designación de personal, análisis de cotizaciones, inversión, diseño de dietas, asignación de horarios, control de inventarios, combinaciones óptimas de producción, agente viajero, presupuestos, entre otros (González & García, 2015).

c) Análisis de sensibilidad

Es un método que consiste en ir cambiando los valores numéricos de los diferentes parámetros y ver el impacto que tienen en la solución óptima (González & García, 2015). Cuando se trata de problemas de programación lineal, los cambios podrían venir por el incremento o disminución en la cantidad de recursos disponibles, cambios en el rendimiento de insumos, los ingresos obtenidos por cada variable, la inclusión de nuevas variables o restricciones, entre otros (Izar, 2019).

d) Formulación

Las formas más comunes de representar un problemas de programación lineal son la forma canónica y la forma estándar.

- En la forma canónica, las restricciones son inecuaciones:

$$\text{Maximizar } \sum_{j=1}^n c_j x_j,$$

$$\text{Sujeto a } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad i = 1, \dots, m$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$\text{Minimizar } \sum_{j=1}^n c_j x_j,$$

$$\text{Sujeto a } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i \quad i = 1, \dots, m$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

- En la forma estándar, las restricciones se presentan como igualdades:

$$\text{Maximizar o Minimizar } \sum_{j=1}^n c_j x_j,$$

$$\text{Sujeto a } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad i = 1, \dots, m$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

1.4.3. Programación Entera

Son problemas cuya solución en las variables de decisión son números enteros (Izar, 2019). Esto puede ocurrir por las propias características del modelo, porque incluyen alguna variable de decisión de tipo cualitativo, o porque para ser formulados requieren de la introducción de variables artificiales enteras (Font, 2011). Permite resolver problemas de transporte, asignación, gestión óptima de recursos y producción, entre otros.

a) Aplicaciones

Un problema de programación lineal entera puede ser de tipo directo o transformado. En el tipo directo, no se puede asignar valores fraccionarios a las variables del modelo debido a la propia naturaleza de la situación. Por ejemplo, si el objetivo es determinar si se emprende o no un proyecto, la variable solo puede tomar un valor de 0 o 1; si el objetivo es determinar el número óptimo de maquinarias para poder llevar a cabo una tarea, la variable es de tipo general entera. Por otro lado, en el tipo transformado, se utilizan variables enteras artificiales para poder convertir el problema de manera analítica a una situación que pueda resolverse a través de algoritmos conocidos (Taha, 2012).

b) Modelo de redes

Una red está conformada por un grupo de nodos conectados por medio de arcos. Además, cada red tiene asociado un flujo que, dependiendo de la capacidad de los arcos, puede ser finito o infinito. Una ruta es una serie de arcos que conectan un nodo de inicio y un nodo final, atravesando otros nodos de la red. Si cada par de nodos puede conectarse por medio de una o más rutas, se dice que la red se encuentra conectada (Taha, 2012). Dentro del modelo de redes, uno de los algoritmos más utilizados es el árbol de expansión mínima.

c) Modelo de transporte

Un modelo de transporte es similar a un modelo de redes, con la diferencia de que los nodos representan puntos de origen o destino exclusivamente, y los arcos son las rutas que los conectan. Cada arco posee información sobre la cantidad transportada y el costo de transporte, ambos por unidad. Además, existe información sobre cantidad de oferta y demanda en cada nodo de origen y destino respectivamente. El objetivo del modelo es la minimización del costo total de transporte a la par que satisface las restricciones de oferta y demanda (Taha, 2012). En caso el modelo se encuentre desbalanceado, es decir, la oferta total no es igual a la demanda total, se puede solucionar agregando un nodo ficticio de origen o destino según sea el caso. En la figura 6 se observa el esquema del modelo.

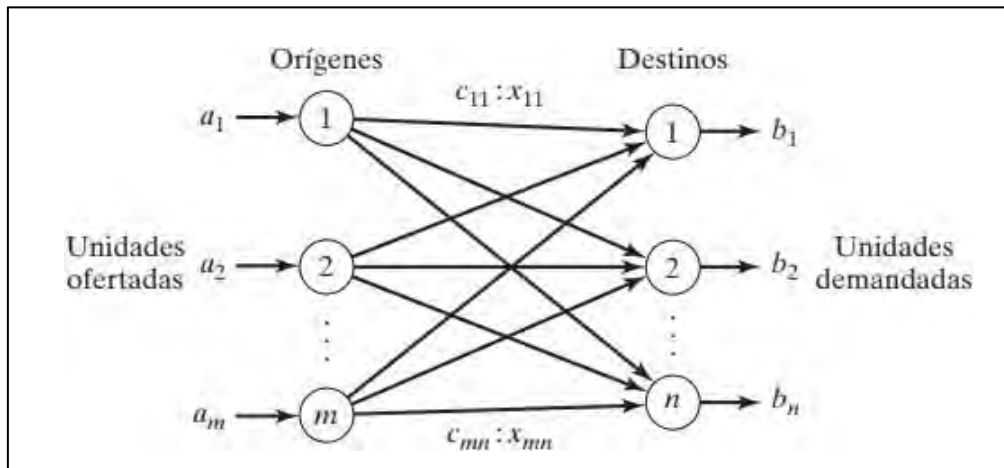


Figura 6. Representación del modelo de transporte con nodos y arcos.
Fuente: (Taha, 2012).

1.4.4. Programación Heurística

Una heurística es un método que emplea reglas prácticas para encontrar soluciones aproximadas de manera rápida. Generalmente se usa en problemas complejos o que no pueden ser resueltos con los algoritmos de optimización convencionales. Su ventaja es que, en general, obtiene buenas soluciones; sin embargo se suelen desconocer la calidad de estas respecto a las óptimas (Taha, 2012).

1.5. Clustering

La agrupación en clústeres o *clustering* es un método importante en el análisis exploratorio de datos (Jain & Dubes, 1988). El objetivo es la identificación de patrones o grupos de objetos con características comunes dentro de un conjunto de datos de interés, conocido como clúster.

Un clúster se define como la agrupación de objetos similares entre sí y diferentes a los elementos pertenecientes a otro clúster. Existen varias técnicas de agrupación propuestas, siendo K-Means una de las más populares (Tamba, y otros, 2019).

El método de clustering también se puede utilizar para analizar cómo están distribuidos los datos o como parte del preprocesamiento en otro algoritmo.

Cuando se trabaja con un algoritmo de clustering se debe considerar lo siguiente:

- Los datos pertenecientes al mismo clúster deben ser parecidos entre sí. Esto puede medirse con la distancia intraclúster (distancia entre objetos del mismo clúster).
- Los datos pertenecientes a clústeres distintos deben ser lo más distinto posible. Esto puede medirse con la distancia interclúster (distancia de un objeto con objetos en otro clúster).

1.5.1. Algoritmos de clustering

A continuación se mencionan dos de los algoritmos de clustering más utilizados y conocidos:

a) Algoritmo de agrupamiento K-Means

Es un algoritmo rápido y sencillo, ya que solo requiere de calcular distancias entre puntos (datos) y centros de grupo, realizando pocos cálculos. En el algoritmo K-Means, el número de grupos o clústeres K ya está predeterminado. Cada grupo contiene un punto central del grupo (llamado centroide) y los miembros de un grupo se seleccionan de acuerdo con la distancia desde el punto central del grupo. Los pasos para desarrollar el algoritmo K-Means son los siguientes (Sari, Suranti, & Zulita, 2017):

1. Decidir el número de clústeres K.
2. Inicializar los centros de clústeres (centroides), esto se puede realizar de varias maneras, sin embargo suele hacerse de manera aleatoria.
3. Asignar cada punto de datos al clúster más cercano, para eso se calcula la distancia euclidiana entre el punto y el centro de cada clúster, y se selecciona el clúster cuyo centro esté más cerca. La distancia euclidiana es calculada de la siguiente manera:

$$D(i, j) = \sqrt{(X_{1i} - X_{1j})^2 + (X_{2i} - X_{2j})^2 + \dots + (X_{ki} - X_{kj})^2}$$

Donde:

$D(i, j)$: Distancia del punto i al centro del clúster j.

X_{ki} : La posición del punto i en su k-ésimo atributo.

X_{kj} : La posición del centroide j en su k-ésimo atributo.

4. Una vez que todos los puntos hayan sido asignados, volver a calcular el centro del clúster como el promedio de las posiciones de todos los puntos pertenecientes a dicho clúster.
5. Repetir los pasos 3 y 4 un número determinado de veces o hasta que la posición de los centroides no varíe mucho.

En la ilustración 1 se observa un ejemplo gráfico del algoritmo K-Means.

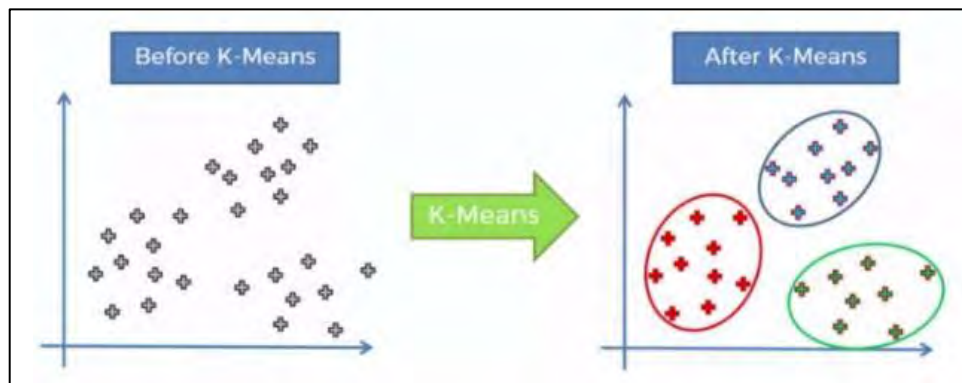


Ilustración 1. Ejemplo de algoritmo KMeans. Fuente: Blog Exponentis (2019).

Cabe resaltar que el algoritmo es sensible a los *outliers*, y la media puede verse influenciada por valores externos (Jin & Han, 2010), por lo que en el paso 4 una alternativa es utilizar la mediana en lugar de la media.

b) Algoritmo de agrupamiento jerárquico

El agrupamiento jerárquico crea árboles de clústeres de objetos, en donde dos clústeres cualesquiera están separados o uno incluye al otro (Hartigan, 2001). Los clústeres más grandes se construyen uniendo clústeres en función de su similitud. Hay dos tipos de enfoque de agrupación jerárquica (Hexmoor, 2015):

1. Enfoque Aglomerativo: Inicialmente, cada dato representa un único clúster, y se van fusionando con otros clústeres en base a sus similitudes hasta que todos los puntos pertenezcan al mismo clúster.
2. Enfoque Divisivo: Inicialmente, todos los datos pertenecen a un mismo clúster; que se va dividiendo en dos o más clústeres, hasta que finalmente cada punto forme su propio clúster.

El resultado de ambos enfoques es representado como un árbol o dendograma, tal como se observa en la figura 7. En la parte superior se encuentra la raíz del árbol, un único clúster que agrupa todos los datos; y en la parte inferior las hojas, donde cada hoja es un clúster con un solo dato. Una vez construido el dendograma, podemos seleccionar a qué nivel del árbol queremos realizar la partición y de esa forma obtener un cierto número de grupos. Esta es una diferencia respecto al algoritmo K-Means, donde se requiere indicar con anterioridad la cantidad de clústeres que se formarán.

Para desarrollar el algoritmo jerárquico con enfoque aglomerativo se realizan los siguientes pasos (Venkat, Vivekananda, & Satish, 2017):

1. Se considera cada punto de datos como un clúster diferente.

2. Se elige una métrica de distancia para medir la separación entre clústeres por pares.
3. Se construye una matriz de distancias.
4. Se combinan los dos clústeres más cercanos entre sí en un solo clúster (con un nuevo centroide) y se eliminan de la matriz de distancias.
5. Se mide las distancias de este nuevo clúster con respecto a los demás y se actualiza la matriz.
6. Se repiten los pasos 4 y 5 hasta que todos los puntos de datos formen parte del mismo clúster.

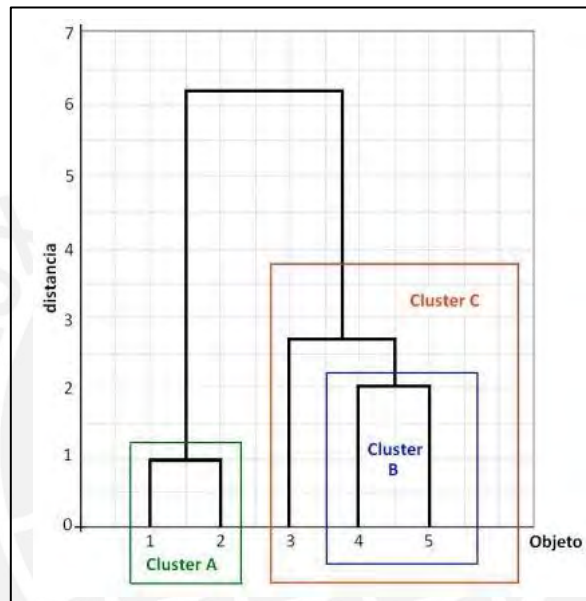


Figura 7. Dendrograma con 3 clústeres. Fuente: Universidad Autónoma de Madrid (2020).

1.5.2. Identificación del número óptimo de clústeres

Seleccionar el número adecuado de clústeres es muy importante, pues dependiendo de la cantidad de datos, puede afectar el tiempo y el uso de recursos computacionales. Existen varios métodos para calcular la cantidad óptima de clústeres K en un set de datos.

a) Método del codo

El método del codo indica cómo el incremento de la cantidad de clústeres impacta en la separación de estos de manera significativa. Utiliza una métrica denominada inercia, definida como la media cuadrática entre cada objeto y su centroide más cercano (Yadav, 2019).

El procedimiento es el siguiente:

- Se escoge un algoritmo de agrupamiento, y se aplica con diferentes valores de K .

- Para cada valor de K, se calcula la inercia como la suma total del error cuadrado de la distancia de cada punto hacia su centroide.
- Se traza una curva de los valores de inercia según el número de clústeres K.

Un cambio de pendiente significativo en la gráfica (codo) generalmente es considerado como un indicador de un K apropiado; en otras palabras, cuando el valor decrece considerablemente y el ángulo formado es más pequeño (Marutho, Handaka, Wijaya, & Muljono, 2018). La figura 8 muestra un ejemplo de una curva generada tras aplicar el método del codo para distintos valores de K, se observa que a partir de K = 3 la pendiente ya no disminuye significativamente, por lo tanto se escoge un número de clúster igual a 3.

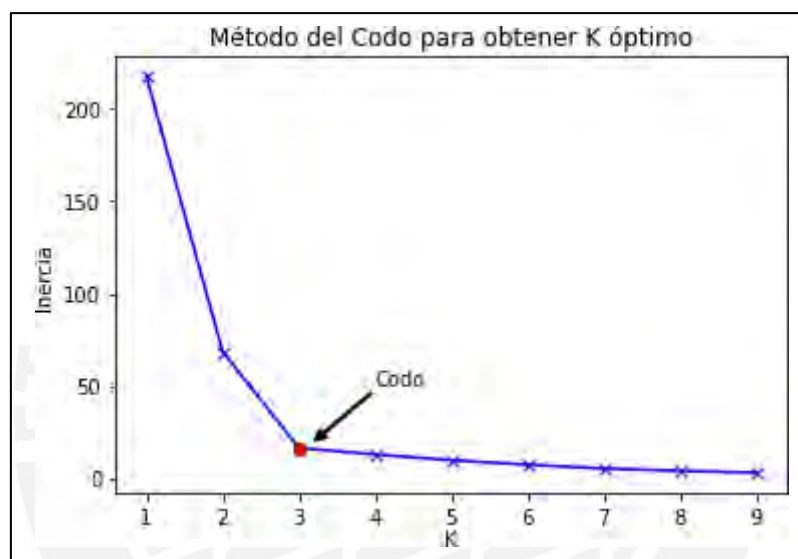


Figura 8. Aplicación del método del codo. Fuente: Jyoti Yadav (2019).

b) Método de la silueta

El método de la silueta evalúa el grado de pertenencia de un punto a un clúster comparando las distancias entre puntos del mismo clúster y la distancia con otros puntos pertenecientes al clúster más cercano (Ben, Hamza, & Bouaguel, 2021). Utiliza una métrica denominada coeficiente de silueta, que varía entre -1 y 1. Un valor próximo a 1 señala que los puntos están cerca de su propio clúster, mientras que un valor próximo a -1 señala que los puntos están cerca de los clústeres vecinos (Yadav, 2019). Cuando más se acerque el valor de silueta a 1, la agrupación es considerada buena (Ben, Hamza, & Bouaguel, 2021).

El procedimiento es el siguiente:

- Se escoge un algoritmo de agrupamiento, y se aplica para diferentes valores de K.
- Para cada valor de K, se calcula el coeficiente de silueta promedio de todos los datos. El coeficiente de silueta para cada dato se calcula con la fórmula $(b - a) /$

máx.(a, b) donde a es la distancia promedio del punto a los otros puntos dentro del clúster y b es la distancia promedio del punto con todos los puntos del clúster más cercano (Kumar, 2020).

- Se traza una curva de los valores de coeficiente de silueta promedio según el número de clústeres K .

La ubicación del punto máximo en la curva es considerada como el valor de K apropiado. Por ejemplo, en la figura 9, el punto más alto está en $K = 3$, por lo tanto esta será la cantidad óptima de clústeres a seleccionar. El método de la silueta se considera un método más robusto frente al método del codo, pero al tener que calcular el coeficiente para cada dato también es más costoso en términos de computación.

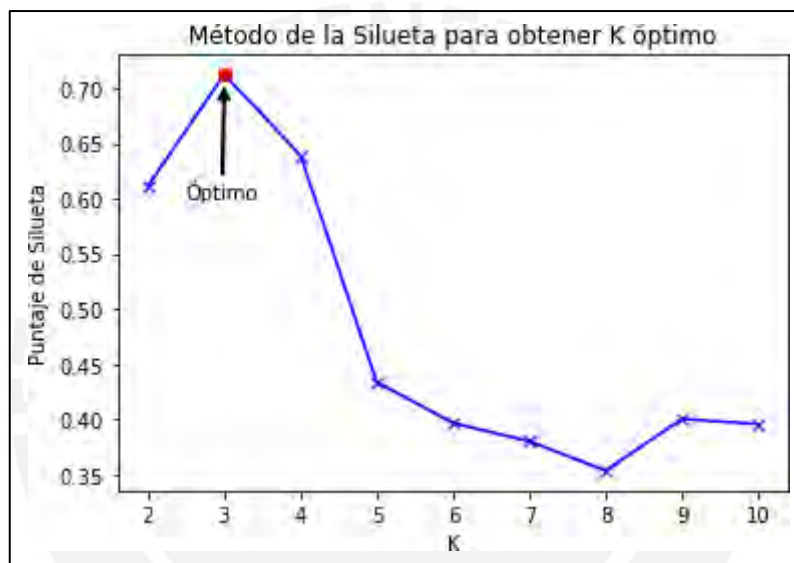


Figura 9. Aplicación del método de silueta. Fuente: Elaboración propia.

1.5.3. Métricas de evaluación de clúster

El *clustering* no solo tiene como objetivo crear agrupaciones, sino que además éstas sean buenas y significativas. A continuación, se detallan algunas métricas de evaluación usadas para medir la calidad de los clústeres:

a) *Whitin Cluster Sum of Squares (WCSS)*

Suma de cuadrados dentro del clúster, mide la variabilidad de las observaciones dentro de cada clúster (conocida como distancia intraclúster) (Open Data Science, 2018). Se quiere que este valor sea lo más bajo posible, pues indicaría que los datos dentro de un mismo clúster están cerca unos de otros (alto grado de compacidad). Se calcula de la siguiente manera:

- Hallar la distancia entre una observación dada y el centroide del clúster al que está asignada, y elevarlo al cuadrado.
- Repetir este proceso para todas las observaciones del clúster, y sumar los valores.
- Repetir este proceso para cada clúster.
- Sumar todos los valores.

Se puede expresar mediante la siguiente fórmula:

$$WCSS = \sum_{i=1}^{N_c} \sum_{x \in C_i} d(x, \bar{x}_{C_i})^2$$

Donde:

- \bar{x}_{C_i} : Centroide del clúster i
- x : Observación
- $d(x, \bar{x}_{C_i})^2$: Distancia al cuadrado entre x y \bar{x}_{C_i}
- C_i : Clúster
- N_c : Número de clústeres

b) **Between Clusters Sum of Squares (BCSS)**

Suma de cuadrados entre clústeres, mide la distancia media al cuadrado entre todos los centroides (conocido como distancia interclúster) (Open Data Science, 2018). Se quiere que este valor sea lo más alto posible, pues indicaría que los centroides de los clústeres están separados unos con otros (alto grado de separación). Se calcula de la siguiente manera:

- Calcular el valor medio de todas las observaciones.
- Hallar la distancia entre el valor medio y el centroide de un clúster, y elevarlo al cuadrado.
- Multiplicar el resultado por el número de observaciones en el clúster para asignarle un peso.
- Repetir este proceso para cada clúster.
- Sumar todos los valores.

Se puede expresar mediante la siguiente fórmula:

$$BSS = \sum_{i=1}^{N_c} |C_i| \cdot d(\bar{x}_{C_i}, \bar{x})^2$$

Donde:

- \bar{x}_{ci} : Centroide del clúster i
- \bar{x} : Media de las observaciones
- $d(\bar{x}_{ci}, \bar{x})^2$: Distancia al cuadrado entre \bar{x}_{ci} y \bar{x}
- $|Ci|$: Número de observaciones en el clúster
- N_c : Número de clústeres

c) Total Sum of Squares (TSS)

Suma de cuadrados total, representa la variación total de un conjunto de datos. Se calcula sumando el *Whitin Cluster Sum of Squares* con el *Between Clusters Sum of Squares* (Glen, 2021).

$$TSS = WCSS + BCSS$$

d) Rendimiento del clustering

El objetivo del *clustering* es lograr grupos compactos de observaciones similares que estén lo más separados posible de otros grupos, es decir, que minimicen la distancia intraclúster y a su vez maximicen la distancia interclúster. Un criterio para medir esto es evaluar la relación entre la suma de cuadrados entre clústeres (BSS) y la suma de cuadrados total (TSS), esta relación es llamada rendimiento del clustering.

$$\frac{BCSS}{TSS} = \frac{BCSS}{WCSS + BCSS}$$

Un valor más alto de rendimiento sugiere una mejor separación de grupos. Sin embargo, ya que este valor aumenta conforme el número de clústeres K incrementa, se debe utilizar alguna técnica para determinar el valor óptimo de K. Por ejemplo, graficar la variabilidad del incremento en el rendimiento conforme aumenta K, y seleccionar el punto donde el incremento deje de ser significativo (similar al método del codo) (Anselin, 2020).

e) Índice Dunn

Es el ratio entre la menor distancia entre clústeres y la mayor distancia dentro de un clúster (Palacio-Niño & Berzal, 2019). Cuanto mayor sea este valor, los clústeres serán mejores.

$$\text{Índice Dunn} = \frac{\min(\text{distancia interclúster})}{\max(\text{distancia intraclúster})}$$

2. Capítulo 2. Estudio de Casos

En este capítulo se revisan 3 artículos que desarrollan modelos de investigación de operaciones para determinar la ubicación óptima de almacenes de ayuda humanitaria en diferentes situaciones. En cada artículo, se detalla el contexto de la situación, los problemas encontrados, los criterios utilizados para crear el modelo y los resultados obtenidos.

2.1. Determinación de la ubicación de almacenes para la distribución de ayuda humanitaria en Nepal (Maharjan & Hanaoka, 2016)

2.1.1. Contexto

Este caso se enfoca en la prelocalización de almacenes de ayuda humanitaria en Nepal, como uno de los pasos iniciales para fortalecer la resiliencia del país desde la perspectiva de la preparación.

2.1.2. Problemas

Nepal se encuentra ubicado en el centro de la cordillera del Himalaya y es propenso a varios tipos de desastres naturales debido a su frágil estructura geofísica. Nepal se caracteriza por presentar picos muy altos, geología compleja, procesos tectónicos activos y asentamientos no planificados, así como condiciones climáticas variables y condiciones económicas y políticas débiles (Evaluación de Riesgos de Peligros de Nepal, 2010). Los autores realizaron un viaje de campo a Nepal donde identificaron: problemas de transporte y logística, falta de recursos técnicos, administrativos y económicos. También se destacó la necesidad de almacenes con materiales de socorro predispuestos para reducir el costo de transporte, así como la incertidumbre asociada al mismo.

2.1.3. Propuesta de mejora

Para determinar la ubicación óptima de los almacenes, el caso utiliza un modelo determinista con un solo objetivo. En específico, aplica una versión transformada del Problema de Ubicación de Cobertura Máxima con restricciones extra. El modelo incluye puntos candidatos que pueden servir como ubicaciones potenciales para almacenes y los puntos de demanda que deben cubrirse. Además de la distancia de cobertura y la densidad de población de los nodos de demanda, la selección de la ubicación del almacén es influenciada por: la accesibilidad del transporte, el nivel de desarrollo y la seguridad ante desastres de los puntos candidatos respectivos. Los valores de umbral que se refieren al

valor mínimo para los tres índices se obtienen tomando el promedio de valores asignados a cada uno de los distritos, y el modelo está restringido a obedecer este valor de umbral mínimo. La selección de un punto candidato se habilita solo cuando la suma de los valores de puntos candidatos para cada restricción adicional está por encima de este umbral. También se realizaron cálculos adicionales con valores de prioridad asignados a cada nodo de demanda para ver el impacto del tamaño de la población en la cobertura general y la selección de ubicación.

Los supuestos del modelo son:

- Todos los almacenes se consideran incapacitados (no tienen límite de capacidad) por lo que pueden cumplir con todas las demandas.
- Todos los puntos de demanda tienen acceso por carretera adecuado desde y hacia las ubicaciones de los almacenes candidatos.
- No hay almacenes existentes en Nepal.
- Los puntos de demanda están completamente cubiertos o no cubiertos, no hay provisión de cobertura parcial; la cobertura sigue el requisito binario.

Formulación del modelo:

$$\text{Maximizar } \sum a_i y_i \dots (1)$$

Sujeto a:

$$\sum x_j \geq y_i \quad \forall i \in I \quad j \in N \dots (2)$$

$$\sum x_j \leq P \quad j \in J \dots (3)$$

$$\sum T_j x_j \geq N_T \sum x_j \quad j \in J \dots (4)$$

$$\sum V_j x_j \geq N_V \sum x_j \quad j \in J \dots (5)$$

$$\sum S_j x_j \geq N_S \sum x_j \quad j \in J \dots (6)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \dots (7)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \dots (8)$$

Donde:

I = nodos de demanda

J = localización de los almacenes

a_i = demanda en el nodo i

P = número de almacenes a localizar

x_j = (1 si un almacén es localizado en el sitio j ; 0 si no es el caso).

y_i = (1 si un nodo de demanda i es cubierto; 0 si no es el caso).

N_T = mínimo valor para índice de accesibilidad de transporte

N_v = mínimo valor para índice de desarrollo

N_s = mínimo valor para índice de seguridad ante desastres

T_j = índice de accesibilidad de transporte para el sitio j

V_j = índice de desarrollo para el sitio j

S_j = índice de seguridad ante desastres para el sitio j

La restricción (2) representa la restricción de cobertura, la restricción (3) limita el número máximo de almacenes que se pueden ubicar respecto al número permitido, las restricciones (4), (5) y (6) son las restricciones limitantes para la accesibilidad del transporte, el nivel de desarrollo y la seguridad ante desastres asociados con cada uno de los distritos.

Configuración de los parámetros de entrada:

- Selección del punto de demanda: El mapeo de desastres resultó en 55 distritos propensos a terremotos, deslizamientos de tierra e inundaciones.
- Selección de puntos candidatos: Se consideran 71 distritos con posibilidad de ser seleccionados para la ubicación del almacén.
- Cálculo de la distancia: La distancia de cobertura utilizada se calculó con una aplicación web llamada "Calculadora de distancia más corta", proporcionada por el Departamento de Carreteras de Nepal. Debido a la diversidad geográfica y las malas condiciones económicas e infraestructurales, el cálculo de la distancia exacta en vez de la euclidiana fue muy importante para capturar el escenario real.
- Selección de índices: Se seleccionó el índice de accesibilidad al transporte, índice de desarrollo e índice de seguridad ante desastres, como limitadores para la formulación del modelo.

2.1.4. Resultados

Debido a la variación geográfica en Nepal, el tiempo de viaje para cubrir la misma distancia en diferentes partes del país es considerablemente diferente. En un intento por incorporar las distintas necesidades de los tiempos de respuesta, se utilizaron tres distancias diferentes (100 km, 200 km y 300 km) para el cálculo de la cobertura del nodo de demanda sujeto a las tres restricciones consideradas. Los puntos para seleccionar deben tener los valores de accesibilidad al transporte, desarrollo y seguridad ante desastres superiores a 12, 0.345 y 8, respectivamente.

Cada escenario determina la cobertura máxima obtenida con un número mínimo de almacenes. La Figura 10 muestra la distribución espacial de los almacenes y la Figura 11 muestra el porcentaje de cobertura obtenido con un número variable de almacenes para los tres escenarios en todo Nepal. Es necesario ubicar un total de 26 almacenes en Nepal para cubrir los 54 nodos de demanda para el escenario de 100 km, 12 almacenes para el escenario de 200 km y 7 almacenes para el escenario de 300 km.

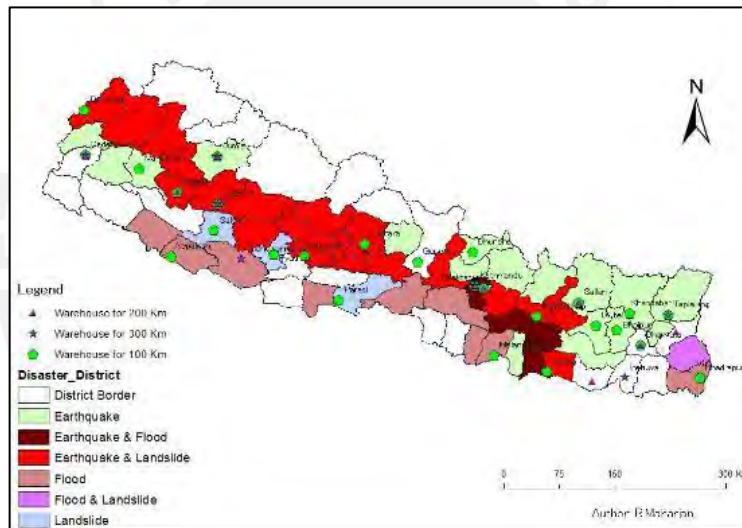


Figura 10. Ubicación de almacenes para escenarios de 100, 200 y 300 km. Fuente: Maharjan & Hanaoka (2016).

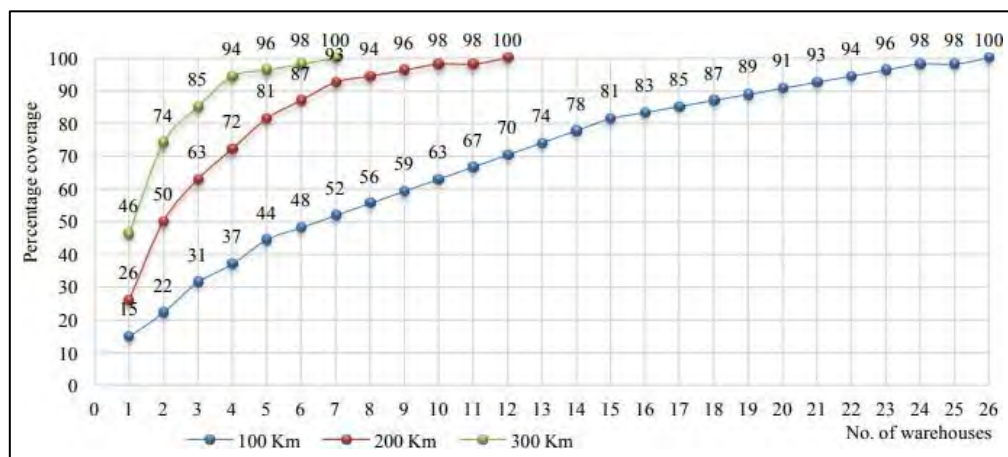


Figura 11. Cobertura de almacenes para escenarios de 100 Km, 200 Km y 300 Km. Fuente: Maharjan et al. (2016).

2.2. Un programa matemático multiobjetivo para determinar la ubicación de centros de distribución en respuesta a desastres (Yilmaz & Kabak, 2016)

2.2.1. Contexto

El problema de la ubicación en la gestión de desastres tiene como objetivo diseñar una red para distribuir ayuda humanitaria (por ejemplo: agua, alimentos, artículos médicos y equipo de supervivencia). Incluye principalmente determinar el número, la posición y la misión de los centros humanitarios requeridos dentro de la región del desastre.

2.2.2. Problema

Los centros de distribución generales o almacenes principales se construyen de forma permanente y por lo general no suelen encontrarse en las áreas críticas (afectadas por un desastre). Caso contrario a los centros de distribución locales que se construyen en las zonas calientes después de un desastre y desde donde se entregan artículos de socorro a las víctimas. Dado que el tiempo de entrega de los artículos de socorro tiene una importancia vital después de un desastre, la selección de la ubicación para este tipo de instalaciones es un tema clave para las operaciones de socorro.

2.2.3. Propuesta de mejora

Se propone un modelo de decisión multiobjetivo para ubicar simultáneamente los centros de distribución locales y los almacenes principales. Los objetivos del modelo son:

- Minimizar la separación entre los centros de distribución locales, puntos de demanda y almacenes principales.
- Minimizar el número de centros de distribución locales y almacenes principales.

El modelo, sus parámetros y variables de decisión se dan a continuación:

Formulación del modelo:

$$\text{Objetivo 1.1: Minimizar } \sum_j \sum_k d_{jk} * b_{jk}$$

$$\text{Objetivo 1.2: Minimizar } \sum_i \sum_j dis_{ij} * a_{ij}$$

Objetivo 2.1: Minimizar $\sum_j y_j$

Objetivo 2.2: Minimizar $\sum_i x_i$

Sujeto a:

$$\sum_j t_{jk} \geq tal_k, \text{ for } \forall k \dots (1)$$

$$\sum_k t_{jk} \leq s_j, \text{ for } \forall j \dots (2)$$

$$a_{ij} \leq x_i, \text{ for } \forall i, j \dots (3)$$

$$b_{jk} \leq \sum_i y_j, \text{ for } \forall j, k \dots (4)$$

$$y_j \leq \sum_i a_{ij}, \text{ for } \forall j \dots (5)$$

$$\sum_k t_{jk} \leq M y_j, \text{ for } \forall j \dots (6)$$

$$t_{jk} \leq M b_{jk}, \text{ for } \forall j, k \dots (7)$$

$$\sum_{j=1}^n b_{jk} \geq 2, \text{ for } \forall k \dots (8)$$

Donde:

- Sets:

K = Set de puntos de demanda

J = Set de candidatos a centros de distribución local

I = Set de candidatos a centros de distribución principal

- Parámetros:

tal_k = Demanda de puntos de demanda k , $k \in K$

s_j = Suministro del Centro de Distribución Local (LDC) j , $j \in J$

d_{jk} = Distancia entre LDC j y punto de demanda k , $j \in J$, $k \in K$

dis_{ij} = Distancia entre Centro de Distribución Principal (MDC) i y LDC j , $i \in I$, $j \in J$

- Variables de decisión:

a_{ij} : 1 si MDC i alimenta LDC j . 0 de otra forma.

b_{jk} : 1 si LDC j alimenta punto de demanda k . 0 de otra forma.

x_i = Centro de distribución principal i (MDC); 1 si MDC abre, 0 de otra forma.

y_j = Centro de distribución local j (LDC); 1 si LDC abre, 0 de otra forma.

t_{jk} = Demanda satisfecha sobre punto de demanda k por LDC j

El objetivo 1.1 minimiza la distancia total entre los centros de distribución locales y los puntos de demanda. El objetivo 1.2 minimiza la distancia total entre los centros de distribución principales y locales. Por otro lado, los objetivos 2.1 y 2.2 minimizan el número de centros de distribución locales y principales abiertos, respectivamente.

La restricción (1) garantiza que toda la demanda sea satisfecha por los centros de distribución establecidos. La restricción (2) asegura que la cantidad de artículos de socorro enviados desde cualquier centro de distribución local a los puntos de demanda no sea mayor que la capacidad del centro de distribución local relacionado. Las restricciones (3), (4), (5) y (6) básicamente garantizan que haya un flujo solo desde los centros de distribución abiertos. La restricción (7) permite el flujo desde un centro de distribución local solo si está asignado a un punto de demanda. La restricción (8) requiere que cada punto de demanda sea atendido dos centros de distribución locales como mínimo. Esta última restricción se agrega al modelo en caso de que una red entre un centro de distribución local y un punto de demanda falle después de un desastre.

Para aplicar el modelo se usó un ejemplo ilustrativo con 4 puntos de demanda, 4 puntos candidatos para LDC y 3 puntos candidatos para MDC. Los datos fueron generados aleatoriamente. Se utilizó el software GAMS para crear modelos MIP y se empleó el solucionador CPLEX para resolverlos de manera óptima.

- Paso 1: El problema se resuelve para cada objetivo de forma individual. Los resultados se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados para cada objetivo.

Modelo resuelto para	Valor Obj. 1	Valor Obj. 2	Valor Obj. 3	Valor Obj. 4
Objetivo 1	1400*	3200	4	3
Objetivo 2	2200	300*	2	3
Objetivo 3	2000	3200	2*	3
Objetivo 4	4400	1000	4	1*

Fuente: Yilmaz & Kabak (2016).

- Paso 2: Dado que todos los objetivos son de minimización, los valores mínimos para cada columna de la Tabla 1 se establecen como metas.

- Paso 3: El siguiente modelo de programación de metas es formulado y resuelto.

$$\text{Minimizar } dpoz_1^+ + dpoz_2^+ + dpoz_3^+ + dpoz_4^+ \dots (9)$$

Sujeto a:

$$\sum_j \sum_k d_{ij} * b_{jk} - dpoz_1^+ = 1400 \dots (10)$$

$$\sum_i \sum_j dis_{ij} * a_{ij} - dpoz_2^+ = 300 \dots (11)$$

$$\sum_j y_j - dpoz_3^+ = 2 \dots (12)$$

$$\sum_i x_i - dpoz_4^+ = 1 \dots (13)$$

Ecuaciones anteriores del (1) al (8)

En este modelo, la función objetivo (9) es para minimizar la desviación total de las metas. Las desviaciones de los objetivos 1 a 4 se calculan en las ecuaciones 10 al 13, respectivamente.

2.2.4. Resultados

Los resultados del modelo de programación de metas para el ejemplo ilustrativo se muestran en la Tabla 2. Los resultados indican que se abren 2 centros de distribución locales y 1 un centro de distribución principal, para satisfacer la demanda de los 4 puntos.

Tabla 2. Resultados del modelo de programación por metas.

Objetivo 1	Objetivo 2	Objetivo 3	Objetivo 4
2000	400	2	1

Fuente: Yilmaz & Kabak (2016)

Después, se comparan los resultados del modelo de programación de metas y cada función objetivo individual. Los resultados se calculan con la ecuación (14) para revelar la mejor solución individual. Los resultados normalizados se dan en la Tabla 3.

$$\text{Minimizar } \sum \frac{d_i^+}{\Delta_i} \dots (14)$$

La Tabla 3 muestra que el Objetivo 2 da el mejor resultado cuando el modelo se resuelve para cada objetivo individualmente. En otras palabras, el objetivo de minimizar la distancia

total entre los centros de distribución local y principal brinda mejores soluciones en comparación con otros objetivos.

Tabla 3. Resultados totales normalizados para cada objetivo.

Modelo resuelto para	Obj. 1 valor normalizado	Obj. 2 valor normalizado	Obj. 3 valor normalizado	Obj. 4 valor normalizado	Total
Objetivo 1	0	1	1	1	3
Objetivo 2	0.27	0	0	1	1.27*
Objetivo 3	0.2	1	0	1	2.2
Objetivo 4	1	0.24	1	0	2.24

Fuente: Yilmaz & Kabak (2016).

2.3. El problema de la ubicación de los almacenes de suministros de socorro basado en la cooperación regional (Chen, Zhao, Wang, & Dessouky, 2016)

2.3.1. Contexto

La gestión de emergencias se administra bajo el principio de prioridad territorial. El Pacto de Asistencia para el Manejo de Emergencias (EMAC) en los Estados Unidos es una ley para la cooperación en el manejo de emergencias entre los estados. Estos pueden integrar y transferir recursos entre todas las regiones de manera rápida y ordenada, según la gravedad del desastre.

2.3.2. Problemas

Debido a la ubicación inadecuada de los almacenes, algunos suministros de emergencia no pueden llegar a tiempo al área del desastre y algunos suministros de emergencia se desperdician. Durante un desastre los gobiernos se esfuerzan por cooperar; sin embargo, los gobiernos rara vez consideran la cooperación con respecto a la reserva de suministros de emergencia entre las regiones antes de que ocurra un desastre.

2.3.3. Propuesta de mejora

En este trabajo se construye un modelo de ubicación de almacenes de socorro basado en la cooperación regional que toma en consideración el principio de prioridad territorial. Se asume que hay varias regiones en el área; los almacenes se dividen en primer nivel (pertenecientes al área o zona) y segundo nivel (pertenecientes a las regiones). Suponemos que una región paga una compensación por los suministros almacenados en almacenes de segundo nivel ubicados en otras regiones. Los almacenes de primer nivel abastecen a todas las regiones de forma gratuita. El problema es encontrar las ubicaciones

adecuadas de los almacenes. Esto es graficado en la Figura 12, donde hay 3 regiones: A, B y C. Cada región tiene nodos de demanda y almacenes de segundo nivel. Además, en la zona se ubican almacenes de primer nivel.

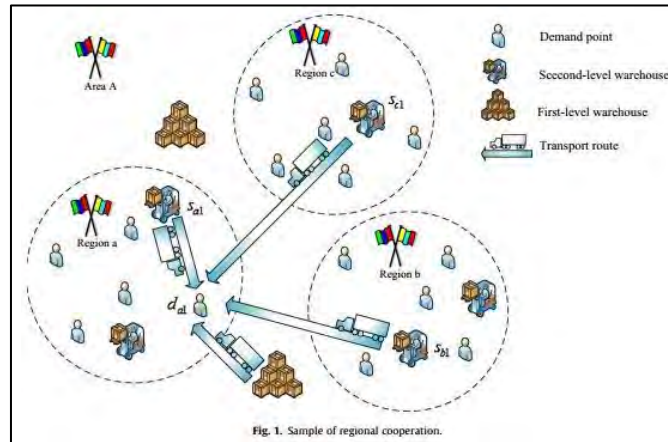


Figura 12. Ejemplo de Cooperación Regional. Fuente: Chen et. al. (2016)

La función de impacto de desastre evalúa el grado en que un nodo de demanda se ve afectado por un desastre, está representado por h_{ej} . La función está basada en la distancia entre el nodo j y el desastre centrado en el nodo e .

$$h_{ej} = \left\{ \begin{array}{l} \alpha_e \gamma_e \gamma_j e^{-\beta e^{d_{ej}}}, e \neq j, j \in A_e \\ \alpha_e \gamma_e, e = j \\ 0, j \notin A_e \end{array} \right\}$$

A_e es el rango afectado del desastre que se centra en el nodo e , d_{ej} es la distancia entre el nodo j y el desastre centrado en el nodo e . Cuando aumenta la distancia entre el centro de desastres y el nodo, el impacto del desastre en el nodo es menor. El parámetro c_e es el coeficiente de vulnerabilidad del nodo e y c_j es el coeficiente de vulnerabilidad del nodo j . Tener en cuenta que tanto la demanda como el tiempo de transporte se ven afectados por un desastre.

Para realizar el modelo, suponemos que las regiones solo están dispuestas a participar en la cooperación siempre y cuando los beneficios sean superiores a los costos luego de la cooperación. Por lo tanto, el objetivo del modelo es minimizar el costo máximo esperado de cualquier región.

Formulación del modelo:

$$\text{Minimizar } W \dots (1a)$$

Sujeto a:

$$z_{ej} \leq x_i, i \in I, j \in J, e \in J \dots (2a)$$

$$y_{ej} \leq D_{ej} * z_{ej}, i \in I, j \in J, e \in J \dots (3a)$$

$$\sum_{i \in I} y_{eij} \geq D_{ej}, e \in J, j \in J \dots (4a)$$

$$z_{eij} * t_{eij} \leq T, i \in I, j \in J, e \in J \dots (5a)$$

$$F_k \leq W, k = 1, 2, \dots, n \dots (6a)$$

$$\sum_{i \in I_0} f_i x_i + \sum_{e \in J} p_e (c \sum_{i \in I_0} \sum_{j \in J} y_{eij} + tc \sum_{i \in I_0} \sum_{j \in J} d_{ij} y_{eij}) \leq W \dots (7a)$$

$$F_k \leq U_k, k = 1, 2, \dots, n \dots (8a)$$

$$\sum_{i \in I_0} f_i x_i + \sum_{e \in J} p_e (c \sum_{i \in I_0} \sum_{j \in J} y_{eij} + tc \sum_{i \in I_0} \sum_{j \in J} d_{ij} y_{eij}) \leq U_0 \dots (9a)$$

$$x_i, z_{eij} \in \{0, 1\}, y_{eij} \geq 0, i \in I, j \in J, e \in J \dots (10a)$$

F_k es el costo esperado de la región k : contiene el costo de abrir el segundo nivel en la región, el costo de compra de suministros, el costo de transporte y el costo de compensación por usar los bienes almacenados en un almacén de segundo nivel de otras regiones. En el modelo (A), la restricción (1a) minimiza el costo máximo esperado de cualquier región, así como el área. Las restricciones (2a) son las restricciones dependientes de las variables de decisión z y x . Solo un almacén seleccionado puede abastecer la demanda. Las restricciones (3a) son las restricciones dependientes de las variables de decisión y y z . Cuando z_{eij} es igual a 1, la cantidad suministrada desde un almacén en el nodo i a la demanda en el nodo j si el desastre ocurre en el nodo e no puede ser mayor que la demanda en el nodo j . Cuando z_{eij} es igual a 0, $y_{eij} = 0$. Las restricciones (4a) requieren que se cumplan las demandas. Las restricciones (5a) son los límites del tiempo de transporte. El tiempo de transporte debe ser inferior a T . Las restricciones (6a) establecen que el costo de cualquier región es menor que W y la restricción (7a) es el mismo requisito, pero para los almacenes de primer nivel que son propiedad del área. Las restricciones (8a) requieren que el costo de cada región sea menor después de la cooperación que antes, mientras que la restricción (9a) es el mismo requisito, pero para el área. Las restricciones (10a) son las restricciones de dominio de las variables de decisión.

En el Modelo (A), el parámetro U_k es el costo esperado de la región k antes de la cooperación, donde el parámetro U_0 es el costo esperado de los almacenes de primer nivel en el área. Antes de la cooperación, los almacenes de la región k solo abastecen los nodos de demanda de la región k . Los almacenes de primer nivel de la zona pueden abastecer todos los nodos de demanda de la zona. Los parámetros U_k y U_0 se pueden obtener usando el Modelo (B) donde se convierten en variables.

Formulación del modelo:

Minimizar $V \dots (1b)$

Sujeto a:

$$z_{eij} \leq x_i, i \in I, j \in J, e \in J \dots (2b)$$

$$y_{eij} \leq D_{ej} * z_{eij}, i \in I, j \in J, e \in J \dots (3b)$$

$$\sum_{i \in I} y_{eij} \geq D_{ej}, e \in J, j \in J \dots (4b)$$

$$z_{eij} * t_{eij} \leq T, i \in I, j \in J, e \in J \dots (5b)$$

$$U_k \leq V, k = 1, 2, \dots, n \dots (6b)$$

$$U_0 \leq V \dots (7b)$$

$$\sum_{e \in J} \sum_{i \in I / \{1_k, j_0\}} \sum_{j \in J_k} y_{eij} = 0, k = 1, 2, \dots, n \dots (8b)$$

$$x_i, z_{eij} \in \{0, 1\}, y_{eij} \geq 0, i \in I, j \in J, e \in J \dots (9b)$$

En el modelo (B), el significado de las restricciones (1b – 7b) es similar a las restricciones (1a – 7a) en el modelo (A). Las restricciones (8b) indican que la demanda en la región k solo puede ser suplida por los almacenes de segundo nivel en la región k y los almacenes de primer nivel en el área. U_k es el costo esperado de la región k y U_0 el costo esperado por almacenes de primer nivel en el área antes de la cooperación.

$$U_k = \sum_{i \in I_0} f_i x_i + \sum_{i \in I_0} \sum_{j \in J} \sum_{e \in J} p_e (c + tcd_{ij}) y_{eij}, k = 1, 2, \dots, n. \dots$$

$$U_0 = \sum_{i \in I_0} f_i x_i + \sum_{i \in I_0} \sum_{j \in J} \sum_{e \in J} p_e (c + tcd_{ij}) y_{eij}$$

Se tomaron para ejemplo las inundaciones en el área del norte de Beijing. En este conjunto de experimentos, se identificó el valor más adecuado de la compensación por unidad de suministro para este ejemplo en el norte de Beijing. El desinfectante es un suministro de emergencia esencial en el trabajo de socorro en caso de inundaciones; por lo tanto, se estudian las posibles ubicaciones de los depósitos de reserva de desinfectantes.

2.3.4. Resultados

Los resultados muestran que la cooperación regional puede reducir significativamente el costo máximo esperado de cualquier región. En la tabla 4 se compara los resultados con y sin cooperación. Asimismo, en la figura 13 se observa la distribución de almacenes de primer y segundo nivel.

Tabla 4. Resultados de la cooperación y no cooperación para el caso de estudio.

Resultados	Sin cooperación	Con cooperación
Localizaciones	(2, 6, 13, 15, 24, 27)	(2, 7, 16, 24, 25)
Costos Fijos (x10,000 RMB)	(3.00, 2.00, 2.40, 2.80, 1.50, 2.50)	(3.00, 2.00, 0.00, 2.80, 1.50, 2.50)
Costos Variables (x10,000 RMB)	(1.20, 1.70, 1.59, 1.57, 0.84, 1.87)	(0.51, 1.51, 3.51, 0.71, 0.84, 1.01)
Costos Totales (x10,000 RMB)	4.20, 3.70, 3.99, 4.37, 2.34, 4.37)	(3.51, 3.51, 3.51, 3.51, 2.34, 3.51)

Fuente: Chen et. al. (2016)

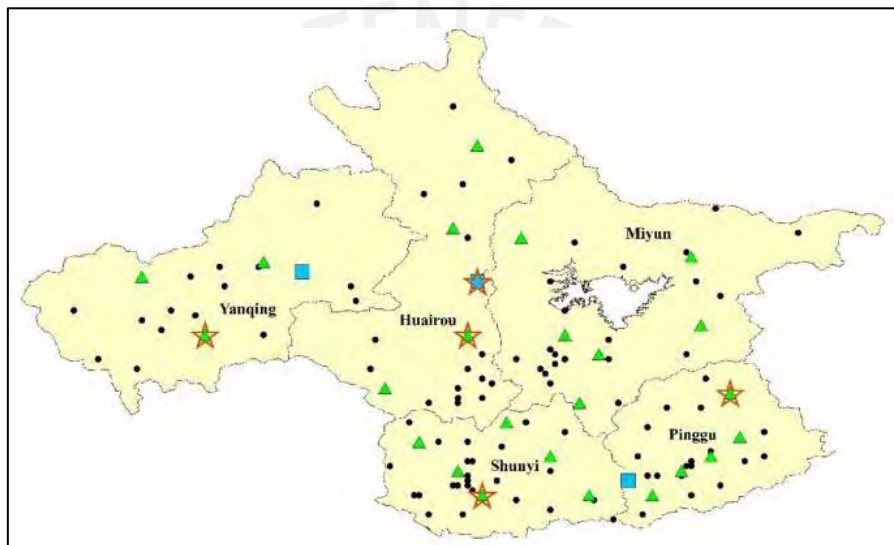


Figura 13. Ubicaciones óptimas de almacén de suministro de emergencia para emergencias. Fuente: Chen et. al. (2016)

3. Capítulo 3. Análisis de la Situación en el Perú

En este capítulo se realiza un análisis del país en relación con el fenómeno de lluvias intensas. Primero se detallan las causas y las posibles consecuencias, entre ellas los desastres naturales que se originan como inundaciones y huaicos. Luego se identifican las zonas con un mayor nivel de riesgo por presentar escenarios con alta probabilidad de lluvias. Por último se detalla el plan de contingencia que posee el país para afrontar este fenómeno y los desastres anteriormente mencionados.

3.1. Desastres naturales en el Perú

3.1.1. Causas

La ocurrencia de grandes desastres naturales en el Perú se debe a la ubicación y características geográficas del país. A continuación se mencionan algunos aspectos relevantes (SINAGERD, 2014):

- El país se ubica en el “Cinturón de Fuego del Pacífico”, un área que presenta un alto nivel sísmico, razón por lo cual está expuesto a temblores, terremotos, tsunamis y actividades volcánicas.
- El país se localiza en la zona tropical y subtropical de la costa occidental de Sudamérica, donde se presentan fuertes cambios climáticos. Esto genera sequías, heladas, inundaciones, precipitaciones extremas, vientos fuertes, granizadas y efectos como el Fenómeno del Niño.
- La Cordillera de los Andes que atraviesa al país y que, debido a su morfología, lo expone a deslizamientos, derrumbes, aludes, aluviones, entre otros.

3.1.2. Fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS)

El Niño Oscilación del Sur (ENOS) es un fenómeno natural que ocurre de manera irregular, con una periodicidad que oscila entre 2 y 7 años. Se caracteriza por cambios en la temperatura del océano, en la zona centro y este del Pacífico ecuatorial, producto de alteraciones en la atmósfera (Organización Meteorológica Mundial, 2014).

ENOS presenta dos fases: una fase cálida llamada El Niño, caracterizada por el calentamiento de la superficie del mar y un debilitamiento de los vientos alisios en el lado este del Océano Pacífico; y una fase inversa o fría llamada La Niña, que presenta una reducción de la temperatura de la superficie del mar y un incremento de los vientos alisios (Maturana, Bello, & Manley, 2004).

Generalmente, los vientos alisios mueven las corrientes marítimas cálidas de este a oeste, formando una especie de piscina de agua caliente superficial en el Pacífico occidental, cerca de Oceanía y Asia. Mientras ocurre la fase de El Niño los vientos alisios se hacen más débiles y el agua caliente se desplaza hacia Sudamérica, encontrándose con la corriente de Humboldt, una corriente de agua fría que va del sur al norte del Perú. Esto da como resultado el incremento en la evaporación del agua, que trae consigo el aumento de lluvias, el riesgo de inundaciones y el aumento del nivel del mar en las costas del Pacífico (Vélez & Paltán, 2015). La figura 14 muestra el proceso de formación de El Niño.

Por otro lado mientras ocurre la fase de La Niña, los vientos alisios se intensifican y la piscina de agua caliente es empujada nuevamente al occidente. Además, los vientos favorecen el ascenso de aguas más frías, teniendo como consecuencia un clima más frío y probabilidad de sequías en algunas zonas (Vélez & Paltán, 2015).

En el caso de Perú, el fenómeno ENOS afecta principalmente a la costa. Produciendo inundaciones y huaicos en la costa norte, huaicos y deslizamientos en la costa central, y sequía en la costa sur (SINAGERD, 2014).

Hasta 2014, los eventos relacionados al fenómeno del Niño que tuvieron mayor impacto en el país, según los registros de INDECI, fueron:

- El Fenómeno El Niño del 1982-83, fue un suceso devastador para el país, con fuertes lluvias e inundaciones en el norte y sequías en el sur. Dejó un saldo de 512 fallecidos y 1,907,720 damnificados. También impactó de manera negativa en un 12% en la economía (SINAGERD, 2014).
- El Fenómeno El Niño de 1997-98 fue un suceso que afectó a varios países. En el Perú inició en el norte con lluvias intensas y se extendió al centro y sur. Se registraron 366 fallecidos, 1,304 heridos y aproximadamente 600 mil damnificados (SINAGERD, 2014).

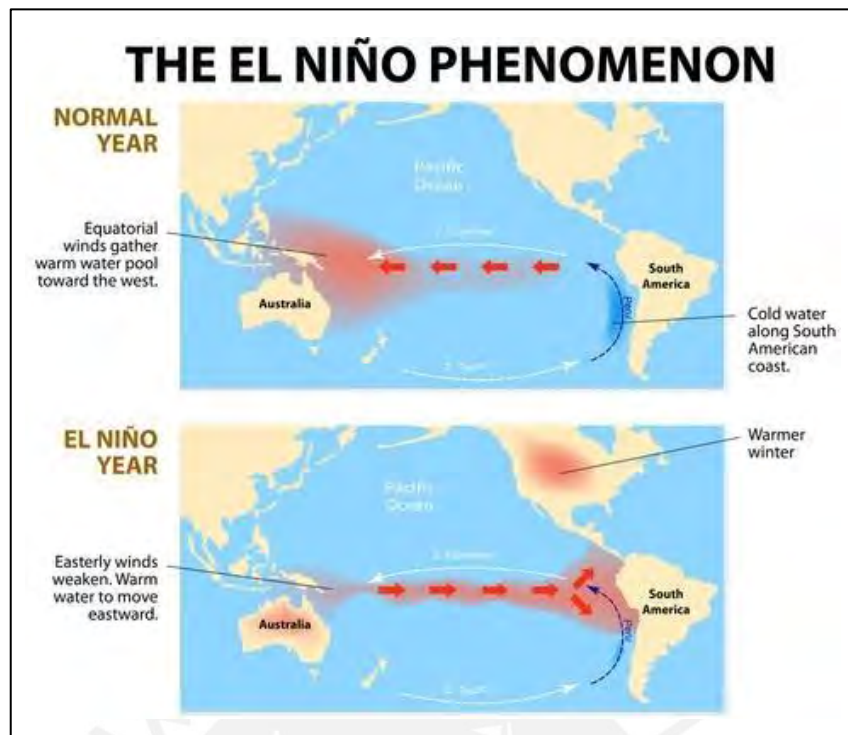


Figura 14. Proceso de formación del Fenómeno El Niño.

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2020).

3.1.3. Lluvias en el Perú

La época de lluvias en el país se desarrolla desde setiembre hasta mayo, siendo los meses de verano el periodo con el mayor número de precipitaciones (CENEPRED, 2020). Como consecuencia de las lluvias se desencadenan huaicos, deslizamiento, inundaciones y otros tipos de fenómenos de movimientos en masa, poniendo en riesgo a la población (Ministerio del Perú, 2018).

La intensidad de las lluvias varía de acuerdo con las condiciones de la atmósfera y el nivel del mar, pudiendo presentar valores superiores o inferiores a lo normal, llegando a situaciones extremas en un determinado momento. En el Perú, esto sucede con mayor frecuencia en la selva y sierra durante los meses de verano (CENEPRED, 2020). Así mismo, es importante considerar el impacto que ha tenido el cambio climático en los últimos años, como el incremento en la temperatura, cambios en las estaciones y alteraciones en los niveles de precipitación y niebla (SINAGERD, 2014).

3.1.4. Principales consecuencias

Entre las consecuencias de la temporada de lluvias está el deterioro de la infraestructura de la región conformada por viviendas, edificios, carreteras y puentes; el daño en estos últimos puede ocasionar que ciudades enteras queden aisladas. También afecta al sector agropecuario, fuente principal de alimentos e ingresos de muchas familias que viven en zonas rurales. Esta situación empeora al alcanzar altos niveles de lluvia o de mayor duración, afectando la realización de las actividades socioeconómicas de la población (CENEPRED, 2013)

En la tabla 5 se observa el impacto que tuvieron los desastres relacionados a lluvias intensas en términos de personas y viviendas afectadas, entre 2003 y 2019 (INDECI, 2020).

Tabla 5. Impacto de desastres en la población y viviendas según tipo de peligro (2003-2019)

Desastre	Personas			Viviendas	
	Afectadas	Damnificadas	Fallecidas	Afectadas	Destruídas
Huaico	444,792	45,795	133	36,315	5,462
Inundación	2,035,997	542,712	148	438,640	37,223
Lluvia intensa	3,828,098	467,742	364	770,887	66,906

Fuente: Compendio Estadístico del INDECI 2020. III. Información estadística de emergencias y daños, periodo 2003 al 2019. Elaboración propia.

3.2. Escenarios de riesgo

La estacionalidad de las lluvias es un aspecto fundamental en el régimen pluviométrico de un país. En el Perú, las precipitaciones acumuladas más altas se observan en los meses de verano (enero a marzo) representando el 70% a 80% de las lluvias en todo el año (SENAMHI, 2020).

A continuación se identifican los escenarios probabilísticos de lluvias para el periodo de verano de 2021, utilizando el informe técnico N°010-2020 del SENAMHI (elaborado en setiembre de 2020) titulado “Escenario probabilístico de lluvias para el verano 2021”.

3.2.1. Escenarios probabilísticos de lluvias para el verano 2021

El informe técnico del SENAMHI utiliza datos mensuales de precipitaciones de los últimos 30 años, provenientes de estaciones meteorológicas en todo el país. De igual forma, se apoya en datos estadísticos pronosticados de la temperatura sobre el nivel del mar (TSM) en el Pacífico y el Atlántico para predecir el régimen pluvial durante el periodo estudiado.

Después, se agrupan los pronósticos de probabilidades de lluvia por regiones: costa, sierra (occidental y oriental) y selva (alta y baja), que a su vez se dividen en zona norte, centro y sur. La tabla 6 muestra los escenarios de lluvia más probables para cada región. Los recuadros amarillos señalan un escenario con probabilidad de deficiencia de lluvia, los verdes señalan un escenario con probabilidad de superávit de lluvias y los blancos señalan un escenario con probabilidad de lluvias dentro de lo normal.

Tabla 6. Valores de probabilidad por regiones según categorías (Inferior, Normal y Superior) del pronóstico de lluvias para el trimestre enero – marzo 2021

Región	N° de Estaciones	Probabilidades			Escenario Probable
		Inferior (%)	Normal (%)	Superior (%)	
Costa Norte	15	48	29	23	INFERIOR
Costa Centro	7	25	40	36	NORMAL
Costa Sur	8	25	30	45	SUPERIOR
Sierra Norte Occidental	24	33	42	25	NORMAL
Sierra Norte Oriental	20	21	45	34	NORMAL
Sierra Central Occidental	47	18	43	40	NORMAL
Sierra Central Oriental	17	20	34	46	SUPERIOR
Sierra Sur Occidental	51	20	32	48	SUPERIOR
Sierra Sur Oriental	42	19	34	48	SUPERIOR
Selva Norte Alta	6	24	46	30	NORMAL
Selva Norte Baja	19	25	46	29	NORMAL
Selva Central	0	20	45	35	NORMAL
Selva Sur	0	37	46	27	INFERIOR

Fuente: SENAMHI (2020).

Como se observa en la tabla, la costa y sierra sur muestran mayores probabilidades de presentar superávits de lluvia, lo que aumenta la posibilidad de desencadenar desastres naturales como inundaciones, deslizamientos o huaicos durante el periodo de verano 2021. En la figura 15, estas áreas son mostradas de color verde.

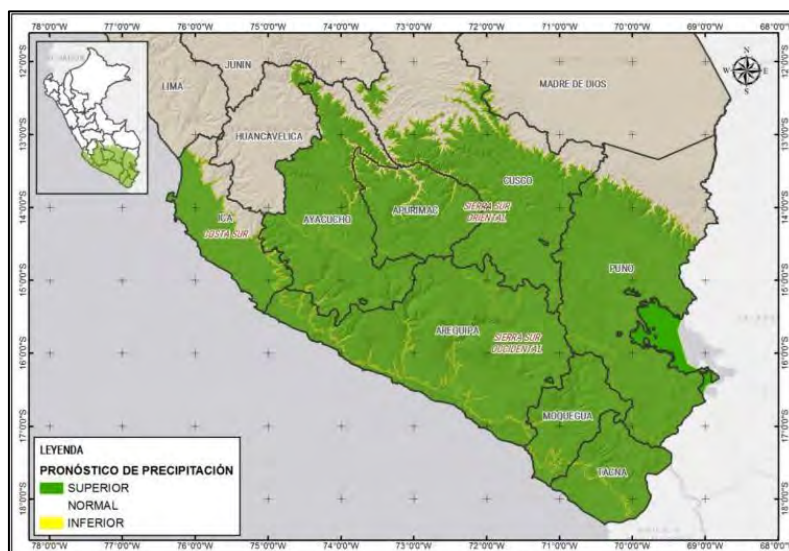


Figura 15. Pronóstico de lluvias en la costa y sierra sur (enero - marzo 2020). Fuente: SENAMHI, 2020.

3.2.2. Probabilidad de ocurrencia del fenómeno El Niño – La Niña para el verano 2021

La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño” (ENFEN) a través del comunicado ENFEN N° 11-2020 estima una mayor probabilidad de condiciones neutrales del fenómeno El Niño - La Niña frente a la costa norte peruana para los meses de verano de 2021, como se aprecia en la tabla 7.

Tabla 7. Probabilidades estimadas de las magnitudes de El Niño - La Niña en el Pacífico oriental (región Niño 1 + 2, frente a la costa norte del Perú) en el verano diciembre 2020 - marzo 2021.

Magnitud del evento diciembre 2020 – marzo 2021	Probabilidad de Ocurrencia
El Niño fuerte	0%
El Niño moderado	3%
El Niño débil	11%
Neutro	62%
La Niña débil	21%
La Niña moderada	3%

Fuente: ENFEN (2020).

3.2.3. Escenarios de riesgo por superávit de lluvias en la costa y sierra sur del Perú para el verano 2021

Los informes de escenario de riesgo son documentos elaborados por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). Permiten

establecer niveles de riesgo en base a la probabilidad de ocurrencia de lluvias intensas, heladas, friajes, sismos y tsunamis, así como la vulnerabilidad de elementos expuestos como la población, infraestructura y actividades económicas, por mencionar algunos (CENEPRED, 2020).

Para el fenómeno en cuestión (lluvias intensas) CENEPRED utiliza la información de:

- Los pronósticos estacionales de lluvias proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).
- Los datos censales proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).
- Los mapas de susceptibilidad por movimientos de masas e inundaciones a nivel regional, elaborados por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMET), que analiza factores como la pendiente, geomorfología, hidrogeología y cobertura vegetal del territorio.

Con esta información, CENEPRED elabora un informe técnico donde analiza los escenarios de riesgo por lluvias intensas (movimientos en masa e inundaciones) para el periodo de verano 2021.

a) Identificación de elementos expuestos

Se consideran los siguientes elementos expuestos (CENEPRED, 2020):

- Población y vivienda. Se utilizó la base de datos de población y vivienda a nivel distrital del Censo de Población y Vivienda del año 2017 realizado por INEI.
- Centros de salud. Se utilizó el Registro Nacional de Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (RENIPRESS) del Ministerio de Salud, actualizada a setiembre 2020.
- Instituciones educativas. Se utilizó la lista de instituciones educativas del Ministerio de Educación (MINEDU), actualizada a setiembre 2020.
- Cultivos. Se utilizó la superficie cultivada y población pecuaria a nivel distrital, del Censo Nacional Agrario 2012, elaborado por el INEI y el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MINAGRI).

b) Escenarios de riesgo por movimientos de masa

Las zonas más susceptibles a huaicos y deslizamientos se distinguen por tener laderas de fuerte pendiente, relieves montañosos y poca o nula vegetación. Asimismo, se debe

considerar la presencia de lluvias intensas como elemento desencadenante para la aparición de movimientos en masa (CENEPRED, 2020). La figura 16 muestra un mapa de riesgo por movimientos de masa focalizado en las zonas donde se pronostica un aumento de lluvias.

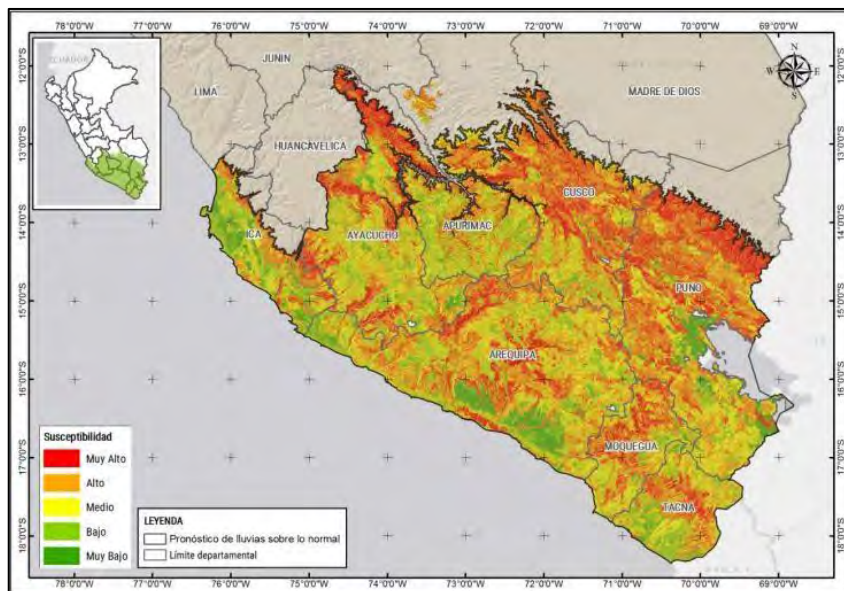


Figura 16. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del ámbito del pronóstico de lluvias para enero - marzo 2021. Fuente: SENAMHI (2020).

Este análisis se complementa con información de emergencias anteriores por deslizamiento de rocas u otros tipos de movimientos en masa (brindada por INDECI) e información de peligros geológicos y zonas críticas (brindada por INGEMMET).

Finalmente se elabora un análisis de exposición, superponiendo la información geográfica de los elementos expuestos (población y vivienda, centros de salud e instituciones educativas) sobre las áreas de susceptibilidad por movimientos en masa. La figura 17 presenta los resultados a nivel distrital.

En base al pronóstico de lluvias para el periodo enero - marzo 2021, CENEPRED estima 80 distritos con un nivel de riesgo muy alto frente a la aparición de **movimientos en masa**, distribuidos en los departamentos de Arequipa, Ayacucho, Cusco, Huancavelica, Moquegua, Puno y Tacna. Estos distritos comprenden los siguientes elementos expuestos: 707,964 personas; 210,765 viviendas; 356 establecimientos de salud; 2,761 instituciones educativas; 273,838 hectáreas de superficie agrícola y 1.8 millones de animales pertenecientes a la actividad ganadera.

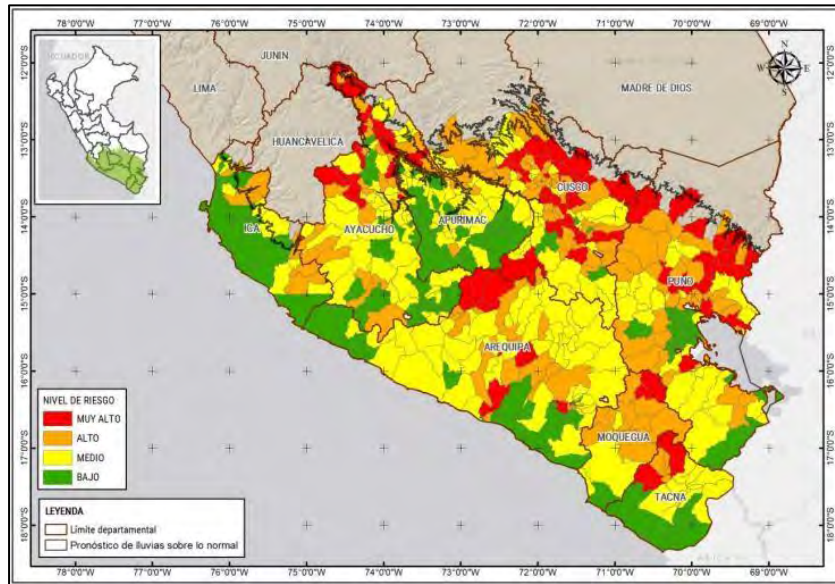


Figura 17. Mapa del escenario de riesgo por movimientos en masa para el verano 2021, correspondiente a la costa y sierra sur. Fuente: CENEPRED (2020).

c) Escenarios de riesgo por inundaciones

Las zonas más susceptibles a inundaciones se distinguen por tener abanicos aluviales de baja pendiente y llanuras de inundación. Además, durante los meses de verano, las lluvias intensas incrementan el caudal de los ríos; llegando en algunos casos a sobrepasar su cauce, lo que provoca inundaciones (CENEPRED, 2020). La figura 18 muestra un mapa de riesgo por inundaciones focalizado en las donde se pronostica un aumento de lluvias.

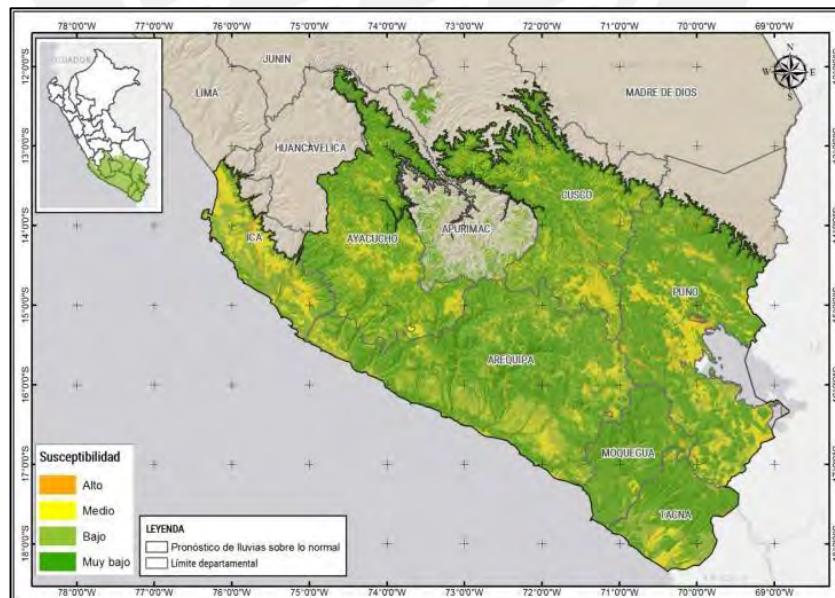


Figura 18. Mapa de susceptibilidad por inundaciones del ámbito del pronóstico de lluvias. Fuente: SENAMHI (2020).

Este análisis se complementa con información de inundaciones anteriores entre 2003 y 2020 (brindada por INDECI), información de zonas críticas (brindadas por INGEMMET) e información de puntos críticos de inundación entre 2019 y 2020 (brindados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA)).

Finalmente se realiza un análisis de exposición, superponiendo la información geográfica de los elementos expuestos (población y vivienda, centros de salud e instituciones educativas) sobre las áreas de susceptibilidad por inundaciones. La figura 19 muestra los resultados a nivel distrital.

En base al pronóstico de lluvias para el periodo enero - marzo 2021, CENEPRED estima 35 distritos con nivel de riesgo muy alto frente a la aparición de **inundaciones**, distribuidos en los departamentos de: Arequipa, Ayacucho, Cusco, Ica, Moquegua, Puno y Tacna. Estos distritos comprenden los siguientes elementos expuestos: 1,528,496 personas; 419,966 viviendas; 557 establecimientos de salud; 3,102 instituciones educativas; 254,537 hectáreas de superficie de cultivos y alrededor de 1.3 millones de animales pertenecientes a la actividad ganadera.

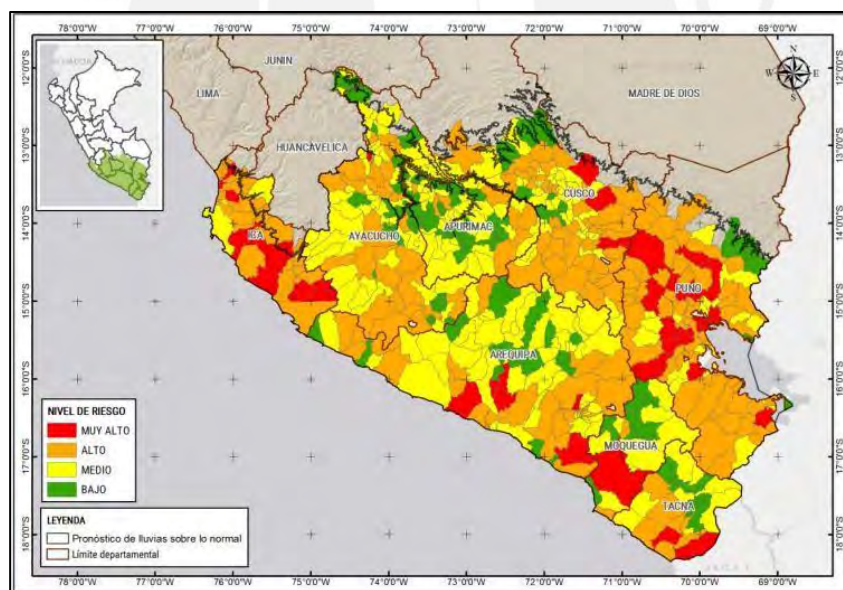


Figura 19. Mapa del escenario de riesgo por inundaciones para el verano 2021, correspondiente a la costa y sierra sur. Fuente: CENEPRED (2020).

3.2.4. Análisis para el verano 2022

Es importante mencionar que los escenarios probabilísticos de lluvia presentados anteriormente pueden cambiar entre un año y otro, ya sea por cambios en las características climáticas particulares de cada región, o por fenómenos externos como el Niño o La Niña que se presentan cada cierto tiempo. Con respecto a este último factor, la

Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño” (ENFEN) a través del comunicado ENFEN N° 08-2021, señaló la probabilidad de que se desarrolle un nuevo evento La Niña en el Pacífico Central entre primavera de 2021 y verano de 2022 (ENFEN, 2021).

Considerando esto, el SENAMHI presentó en octubre de 2021 su informe técnico N°08-2021 titulado “Escenario Probabilístico de Lluvias para el verano 2022” (SENAMHI, 2021). La tabla 8 muestra los resultados de probabilidad por regiones.

Tabla 8. Valores de probabilidad por regiones según categorías (Inferior, Normal y Superior) del pronóstico de lluvias para el trimestre enero – marzo 2022

Región	N° de Estaciones	Probabilidades			Escenario Probable
		Inferior (%)	Normal (%)	Superior (%)	
Costa Norte	15	43	38	19	INFERIOR
Costa Centro	7	29	37	34	NORMAL
Costa Sur	8	33	35	32	NORMAL
Sierra Norte Occidental	24	30	43	27	NORMAL
Sierra Norte Oriental	20	25	41	34	NORMAL
Sierra Central Occidental	47	23	40	37	NORMAL
Sierra Central Oriental	17	19	31	50	SUPERIOR
Sierra Sur Occidental	51	20	36	44	SUPERIOR
Sierra Sur Oriental	42	17	34	49	SUPERIOR
Selva Norte Alta	6	29	39	32	NORMAL
Selva Norte Baja	19	24	32	44	SUPERIOR
Selva Central	0	26	34	40	SUPERIOR
Selva Sur	0	25	30	45	SUPERIOR

Fuente: SENAMHI (2021)

Como se observa en la tabla, el escenario probabilístico de lluvias para verano de 2022 señala mayor probabilidad de presentar superávits de lluvia en la sierra y selva, en las regiones central y sur. Por otro lado, en la región norte y toda la costa se prevén condiciones de normal a bajo.

3.3. Plan de respuesta

3.3.1. Planes relacionados a la gestión de riesgo de desastres

a) Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (PLANAGERD) 2014 - 2021

Es un documento técnico elaborado en conjunto por CENEPRED, SINAGERD e INDECI y aprobado en noviembre de 2012 mediante el Decreto Supremo N° 111-2012-PCM. Establece los principales lineamientos, objetivos y acciones estratégicas relacionadas a la Gestión de Riesgos de Desastres (GRD), con la finalidad de disminuir la vulnerabilidad de la población y sus medios de vida ante situaciones de desastre. Está compuesta por 6 objetivos estratégicos, 14 objetivos específicos y 47 acciones estratégicas (SINAGERD, 2014). El esquema general se muestra en la ilustración 2.

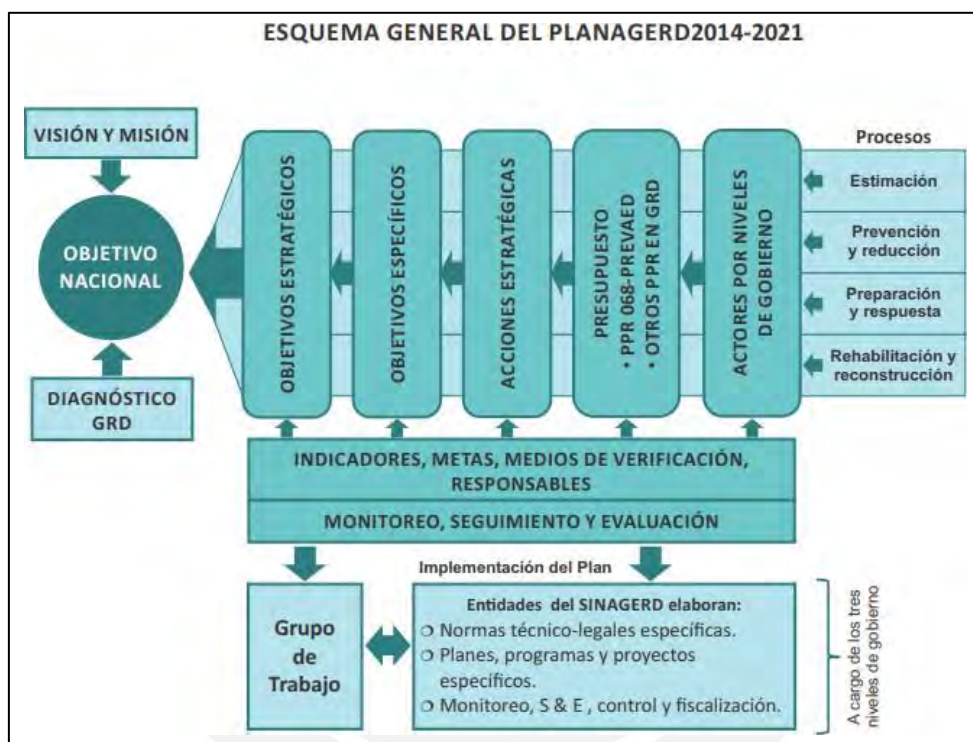


Ilustración 2. Esquema general plan nacional GRD (2014-2021)
Fuente: PLANAGERD (2014).

b) Plan de instalación y gestión de albergues temporales

Realizado por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). Contempla los siguientes puntos (INDECI, 2017):

- Consideraciones generales: tipos de albergues, su propósito y principios que guían la instalación y gestión de albergues temporales.
- Criterios necesarios para su ubicación e implementación: Condiciones básicas como seguridad, clima, infraestructura, medios de comunicación, abastecimiento de agua potable y alimentos, facilidad de acceso, entre otros.

- Apertura y cierre de un albergue temporal: Documentos requeridos.
- Organización: Comités designados.

c) Plan logístico INDECI: Bienes de ayuda humanitaria ante emergencias y desastres.

El objetivo es calcular la demanda necesaria de bienes humanitarios para alcanzar un nivel de respuesta adecuado en caso de posibles emergencias y desastres durante el año 2021, cuando la capacidad de los gobiernos regionales se vea superada (INDECI, 2021). Primero se realiza un análisis de los desastres y las condiciones de vulnerabilidad de las zonas expuestas, luego se señala el número de almacenes y su ubicación a nivel nacional. La Tabla 9 muestra la distribución de los almacenes.

Tabla 9. Distribución de almacenes a nivel nacional.

N°	Región	Almacenes Nacionales	Almacenes Regionales	Almacenes Adelantados	Total
1	Amazonas	1	1	8	10
2	Áncash	-	1	4	5
3	Apurímac	-	1	5	6
4	Arequipa	1	1	7	9
5	Ayacucho	-	1	5	6
6	Cajamarca	-	1	9	10
7	Callao	-	1	-	1
8	Cusco	1	1	5	7
9	Huancavelica	1	1	6	8
10	Huánuco	-	1	-	1
11	Ica	1	1	4	6
12	Junín	1	1	2	4
13	La Libertad	2	1	5	8
14	Lambayeque	1	1	6	8
15	Lima	3	1	3	7
16	Loreto	1	1	9	11
17	Madre de Dios	-	1	3	4
18	Moquegua	-	1	5	6
19	Pasco	1	1	3	5
20	Piura	2	1	15	18
21	Puno	2	1	15	18
22	San Martín	1	1	2	4
23	Tacna	1	1	5	7

24	Tumbes	2	1	5	8
25	Ucayali	1	1	-	1
Total		23	25	131	178

Fuente: INDECI, Plan logístico (2021). Elaboración propia

Los Almacenes nacionales son responsabilidad de INDECI, los almacenes regionales son responsabilidad de los gobiernos regionales, y los almacenes locales o adelantados son responsabilidad de las municipalidades provinciales o distritales. Los principales criterios de jerarquización de los almacenes se observan en la ilustración 3.

Almacén Nacional	Almacenes Regionales	Almacenes Locales o Adelantados
<ul style="list-style-type: none"> • Situado estratégicamente. • Permite brindar una respuesta rápida, adecuada y oportuna frente a la aparición de emergencias o desastres, que van más allá del alcance regional. • Permite reabastecer los almacenes regionales cuando estos superen su capacidad de respuesta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenes situados en las capitales de las regiones o donde lo establezca el gobierno regional. • Permite brindar una respuesta adecuada y rápida frente a la aparición de una emergencia o desastre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Situados en localidades geográficas alejadas o de difícil acceso. • Son abastecidos por los almacenes regionales. • Almacenan y distribuyen adecuadamente los suministros de ayuda humanitaria.

Ilustración 3. Principales criterios de jerarquización de los Almacenes.

Fuente: INDECI, Plan logístico (2021). Elaboración propia.

El plan también señala los suministros de ayuda humanitaria que fueron distribuidos por INDECI en el año 2020. El resumen de esta información es mostrado en la tabla 10.

Tabla 10. Resumen de bienes de ayuda humanitaria distribuidas por el INDECI en el 2020.

Descripción	Total stock entregado	Costo Total
Alimentos	595,372	S/. 1,619,020.60
Abrigo	120,941	S/. 5,348,686.78
Menaje y Enseres	158,943	S/. 485,790.94
Herramientas	4,350	S/. 183,420.13
Aseo personal	47,278	S/. 580,639.05
Total	-	S/. 13,098,106.46

Fuente: INDECI, Plan logístico (2021). Elaboración propia.

3.3.2. Plan de contingencia nacional ante lluvias intensas

Este plan se elabora según lo establecido en la Ley N° 29664 y su Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 048-2011 PCM. El objetivo es señalar los procedimientos específicos de coordinación, alerta, movilización y respuesta de las instituciones que forman parte del SINAGERD ante la aparición de lluvias fuertes (Ministerio del Perú, 2018).

a) Organismos e instituciones

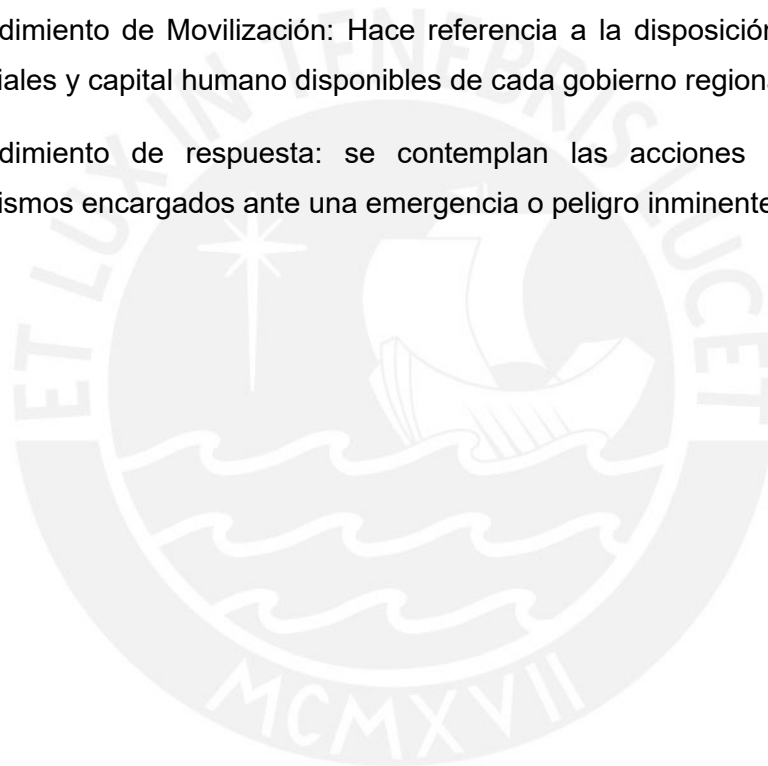
Los organismos e instituciones que participan en las emergencias ante lluvias intensas son:

- Consejo Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (CONAGERD)
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI)
- Instituciones técnico – científicas: brindan información sobre el seguimiento de los peligros asociados a lluvias intensas. Las instituciones involucradas son:
 - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)
 - Autoridad Nacional del Agua (ANA)
 - Instituto geofísico del Perú (IGP)
 - Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA)
 - Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)
 - Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN).
- Centro Nacional de Estimación Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED): brinda información acerca de los escenarios de riesgo.
- Entidades de primera respuesta: realizan acciones de carácter inmediato en las zonas afectadas por una emergencia o desastre. Está compuesta por las Fuerzas Armadas, la Policía Nacional del Perú, el Cuerpo General de Bomberos del Perú, el Sector Salud, el Ministerio de la Mujer y Poblaciones Vulnerables y la Cruz Roja Peruana.
- Entidades Públicas
- Sistemas Regionales de Defensa Civil (SIREDECI): conformado por los gobiernos regionales, los gobiernos locales con sus correspondientes equipos de trabajo de manejo de desastres y centros de operaciones de emergencia regional y local.
- Entidades Privadas: su participación se da mediante acuerdos, planes y protocolos establecidos a nivel regional, utilizando sus propios recursos disponibles.

- Red Humanitaria Nacional (RHN).

b) Procedimientos específicos

- Procedimiento de Alerta: se describe un escenario base tomando en cuenta los niveles de lluvia mínimos y las características de las lluvias extremas (de mayor a menor intensidad): alarma, alerta, vigilancia permanente y estado normal. Sobre esa base, el COEN emite la alerta o alarma ante la posibilidad de ocurrencia de lluvias intensas.
- Procedimiento de Coordinación: Describe los organismos encargados de la toma de decisiones ante ocurrencia de lluvias intensas y su forma de actuar.
- Procedimiento de Movilización: Hace referencia a la disposición de los recursos materiales y capital humano disponibles de cada gobierno regional y local.
- Procedimiento de respuesta: se contemplan las acciones a realizar y los organismos encargados ante una emergencia o peligro inminente.



4. Capítulo 4. Análisis de la Costa y Sierra sur del Perú

En este capítulo se presentan los departamentos que comprenden las zonas con mayor probabilidad de presentar un aumento en las lluvias y podrían desencadenar inundaciones y huaicos durante el periodo de verano 2021. Estos departamentos son: Cusco, Arequipa, Ayacucho, Ica, Moquegua, Puno, Apurímac y Tacna. Para cada departamento se describen los aspectos geográficos y sociales, así como los factores de susceptibilidad y vulnerabilidad utilizados para determinar el nivel de riesgo. Finalmente, se presenta una tabla resumen de la población estimada que se encuentra expuesta a escenarios de riesgo por lluvias intensas, calculada por CENEPRED.

4.1. Aspectos principales

Se describen los siguientes aspectos en cada uno de los departamentos:

- **Características geográficas:** Detalla la ubicación, los límites del departamento, la cantidad de provincias que lo conforman y las características geográficas de dicha región.
- **Aspectos sociales:**
 - Población: Se muestra en una tabla la cantidad de personas por provincia. La información se obtiene del documento “Resultados Definitivos”, elaborado a partir de los Censos Nacionales de Población y Vivienda 2017 realizados por INEI.
 - Viviendas: Se muestra en una tabla la cantidad total de viviendas. En base a su material predominante (ladrillos o bloques de cemento, piedra con cal o cemento, adobe, tapia, quincha, piedra con barro, madera, triplay) se realiza una agrupación para viviendas con predominancia de material precario y susceptible a deslizamientos (quincha, piedra con barro, madera, y triplay) y se muestran la cantidad de viviendas de este tipo así como la cantidad de personas viviendo en una. Esta información se obtiene del documento “Resultados Definitivos”, elaborado a partir de los Censos Nacionales de Población y Vivienda 2017 realizados por INEI (INEI, 2017).
 - Salud: Se muestra en una tabla los establecimientos prestadores de servicio de salud por provincia, incluyendo centros de salud, hospitales, puestos de salud, entre otros. Esta información se obtiene a partir del listado de establecimientos registrados en el Registro Nacional de Instituciones

Prestadores de Salud (RENIPRESS) (SUSALUD, 2021) o de informes elaborados por la dirección regional de salud del departamento.

- Educación: Se muestra en una tabla los centros de educación por provincia, considerando los tipos de educación inicial, primaria y secundaria. Esta información se obtiene a través del portal web Estadística de la Calidad Educativa (ESCALE) del Ministerio de Educación (MINEDU, 2021).
- **Análisis de riesgo:** Para establecer el nivel de riesgo se combina el factor de susceptibilidad y el factor de vulnerabilidad. Para el factor de susceptibilidad se utilizan los mapas de susceptibilidad a inundaciones y movimientos de masa del Perú elaborados por CENEPRED. El primer mapa se basa en la geomorfología, pendiente del terreno y el factor de lluvias intensas (con percentil 95); mientras que el segundo mapa, además de todo lo anterior, considera la litología, hidrología y vegetación. Por su parte, el análisis de vulnerabilidad es propio de cada departamento, cuyo gobierno elabora su “Plan de contingencia regional ante lluvias intensas”. Al final del análisis de riesgo se muestra una tabla con el número de personas expuestas a inundaciones y movimientos de masa, con riesgo muy alto, alto y medio, para el periodo de enero-marzo 2021. Esta información proviene de un archivo Excel elaborado por CENEPRED como parte de su análisis de escenarios de riesgos por lluvias intensas 2021 (CENEPRED, 2021).

4.2. Departamento de Cusco

4.2.1. Características geográficas

El departamento de Cusco está ubicado en la zona suroriental del país y tiene una extensión territorial de 72,104 km². Su territorio abarca la Cordillera Oriental y Central de los Andes, contiene zonas andinas y un poco de selva alta. Se pueden encontrar montañas, mesetas, altiplanos, cumbres, glaciares, relieves divididos por pronunciadas pendientes, planicies y valles (Gobierno Regional Cusco, 2021).

Está dividida políticamente en 13 provincias y 112 distritos. Las provincias y la cantidad de distritos que alberga cada una son: Cusco (8), Acomayo (7), Anta (9), Calca (8), Canas (8), Canchis (8), Chumbivilcas (8), Espinar (8), La Convención (14), Paruro (9), Paucartambo (6), Quispicanchi (12) y Urubamba (7) (INEI, 2018).

4.2.2. Aspectos sociales

a) Población

En base al censo efectuado por el Instituto Nacional de Estadística e Informáticas (INEI) en 2017, la población total de Cusco es de 1,205,527 habitantes, perteneciendo el 60.7% a las zonas urbanas y el 39.3% a las zonas rurales (INEI, 2018).

Tabla 11. Cusco. Población censada y tasa de crecimiento anual según provincia, 2017.

Provincia	2017		Tasa de crecimiento porcentual anual
	Absoluto	%	
Cusco	447,588	37.2	2.0
Acomayo	22,940	1.9	-1.7
Anta	56,206	4.7	0.2
Calca	63,155	5.2	-0.3
Canas	32,484	2.7	-1.6
Canchis	95,774	7.9	-0.1
Chumbivilcas	66,410	5.5	-1.3
Espinar	57,582	4.8	-0.8
La Convención	147,148	12.2	-1.2
Paruro	25,567	2.1	-1.9
Paucartambo	42,504	3.5	-0.8
Quispicanchi	87,430	7.3	0.6
Urubamba	60,739	5.0	0.7
Total	1,205,527	100	0.3

Fuente: INEI – Censos Nacionales de Población y Vivienda 2007 y 2017 (2017).

b) Viviendas

Tabla 12. Cusco. Viviendas particulares y precarias a nivel provincia, 2017.

Provincia	Total de viviendas	Población	Viviendas precarias	Población
Cusco	106,631	431,311	707	2,600
Acomayo	6,905	22,098	48	111
Anta	15,527	54,571	237	654
Calca	18,173	61,719	1,695	5,091
Canas	10,519	31,276	66	153
Canchis	27,222	93,760	537	1,186
Chumbivilcas	20,650	63,071	1,817	4,780
Espinar	17,909	53,346	785	1,709
La Convención	41,061	127,361	14,672	49,268

Paruro	8,023	24,832	84	231
Paucartambo	11,906	41,983	2,170	7,236
Quispicanchi	23,562	86,363	1,638	5,242
Urubamba	15,484	57,178	579	1,924
Total	323,572	1,148,869	25,035	80,185

Fuente: INEI – Censos Nacionales de Población y Vivienda 2007 y 2017 (2017). Elaboración propia.

c) Salud y Educación

La cantidad de establecimientos de salud se obtuvo a partir del informe “Población Proyectada 2018” elaborado por la Dirección Ejecutiva de Inteligencia Sanitaria y la Dirección de Estadística, Informática y Telecomunicaciones de la región Cusco (DIRESA Cusco, 2018).

Tabla 13. Cusco. Establecimientos de salud y centros de educación por provincias.

Provincias	Establecimientos salud	Cantidad de colegios
Acomayo	10	177
Anta	17	296
Calca	33	387
Canas	15	321
Canchis	20	486
Chumbivilcas	35	423
Cusco	25	971
Espinar	13	331
La Convención	99	973
Paruro	14	250
Paucartambo	15	335
Quispicanchi	22	465
Urubamba	14	261
Total	332	5,676

Fuente: Población Proyectada – Dirección Regional de Salud Cusco (2018) y Estadística de la Calidad Educativa (MINEDU) (2021). Elaboración propia.

4.2.3. Análisis de riesgo

Para determinar escenarios de riesgo se realiza una valoración del nivel de precipitación en función de su volumen (las precipitaciones superiores a 1200 mm. se consideran un

nivel de peligro alto), luego se identifican niveles de susceptibilidad en base a las condiciones de la región y el elemento desencadenante (lluvias intensas), por último se analizan los elementos expuestos, estimando posibles daños y/o pérdidas (Gobierno regional de Cusco, 2020).

Para determinar la vulnerabilidad se utilizan los siguientes parámetros: salud, educación, población, vivienda, agricultura, turismo, transporte, recursos naturales y educación ambiental (Gobierno regional de Cusco, 2020).

Tabla 14. Cusco. Población expuesta a inundaciones y movimientos en masa, enero-marzo 2021.

Provincia	Población expuesta a inundaciones			Población expuesta a movimientos en masa		
	Muy alto	Alto	Medio	Muy alto	Alto	Medio
Acomayo	0	0	4846	12,437	6,925	3,576
Anta	11,337	4,008	10,434	22,450	23,892	9,864
Calca	220	27,486	2,385	13,589	22,614	26,952
Canas	0	7,316	10,561	15,872	15,805	770
Canchis	4,750	59,537	7,961	19,876	16,501	58,986
Chumbivilcas	0	73	4,819	14,056	46,984	5,370
Cusco	0	373,265	60,906	287,120	157,298	3,170
Espinar	0	40,415	3,224	5,757	51,793	32
La Convención	2,772	57,999	6,125	19,088	56,212	60,747
Paruro	0	0	0	8,525	14,377	2,665
Paucartambo	0	69	4,819	2,125	31,893	8,093
Quispicanchi	539	15,948	12,567	20,508	43,996	22,754
Urubamba	4,049	18,418	18,514	9,229	35,974	15,536

Fuente: CENEPRED (2021). Elaboración propia.

4.3. Departamento de Arequipa

4.3.1. Características geográficas

El departamento de Arequipa está ubicado en la sierra sur del país y tiene una extensión de territorio de 63,345 km². Limita al este con Moquegua y Puno, al oeste con el Océano Pacífico y al norte con Ica, Ayacucho, Apurímac y Cusco. En esta región se encuentra el volcán Misti, además de cordilleras y lagunas (Gobierno Regional Arequipa, 2021).

Está dividida políticamente en 8 provincias y 109 distritos. Las provincias y la cantidad de distritos que posee cada una son: Arequipa (29), Camaná (8), Caravelí (13), Castilla (14), Caylloma (20), Condesuyos (8), Islay (6) y La Unión (11) (INEI, 2018).

4.3.2. Aspectos sociales

a) Población

En base al censo efectuado por INEI en 2017, la población total de Arequipa es de 1,382,730 habitantes, perteneciendo el 91.8% a las zonas urbanas y el 8.2 % a las zonas rurales (INEI, 2018).

Tabla 15. Arequipa. Población censada y tasa de crecimiento anual según provincia, 2017.

Provincia	2017		Tasa de crecimiento porcentual anual
	Absoluto	%	
Arequipa	1,080,635	78.1	2.3
Camaná	59,370	4.3	1.1
Caravelí	41,346	3.0	1.4
Castilla	33,629	2.4	-1.3
Caylloma	86,771	6.3	1.6
Condesuyos	16,118	1.2	-1.6
Islay	52,034	3.8	0.0
La Unión	12,827	0.9	-2.0
Total	1,382,730	100	1.8

Fuente: INEI – Censos nacionales de población y vivienda. 2017. (2017).

b) Viviendas

Tabla 16. Arequipa. Viviendas particulares y precarias a nivel provincia, 2017.

Provincia	Total de viviendas	Población	Viviendas precarias	Población
Arequipa	289,587	1,056,316	9,972	27,596
Camaná	18,076	56,967	6,497	18,103
Caravelí	11,808	35,897	3,912	11,272
Castilla	10,094	31,111	1,865	5,274
Caylloma	27,312	81,462	8,949	25,607
Condesuyos	4,858	13,200	1,557	3,870
Islay	15,104	50,336	4,837	10,128
La Unión	4,242	12,078	752	2,032

Total	381,081	1,337,367	38,341	103,882
-------	---------	-----------	--------	---------

Fuente: INEI – Censos nacionales de población y vivienda 2017 (2017). Elaboración propia.

c) Salud y Educación

La cantidad de establecimientos de salud se obtuvo a partir del archivo Excel “Establecimientos de Salud según ubicación (2017)” del portal web Gerencia Regional de Salud Arequipa (GRS Arequipa, 2017).

Tabla 17. Arequipa. Establecimientos de salud y centros educativos por provincia.

Provincias	Establecimientos salud	Cantidad de colegios
Arequipa	108	3,078
Camaná	21	193
Caravelí	17	150
Castilla	29	209
Caylloma	33	379
Condesuyos	14	137
Islay	13	156
La Unión	18	142
Total	253	4,444

Fuente: Establecimientos de Salud según ubicación – Gobierno regional de Arequipa (2017) y Estadística de la Calidad Educativa (MINEDU) (2021). Elaboración propia.

4.3.3. Análisis de riesgo

El departamento de Arequipa presenta en forma recurrente precipitaciones pluviales de diversos niveles entre los meses de noviembre a abril, agudizándose entre enero a marzo. Para determinar el escenario de riesgo se consulta el informe técnico respectivo de CENEPRED donde da un pronóstico de lluvias para el periodo enero-marzo 2020 (COER-Arequipa, 2020).

Luego, para el análisis de vulnerabilidad, se identifican los elementos expuestos en la región, como población, viviendas e infraestructura pública (centros de salud, instituciones educativas, comisarías, estaciones de bomberos, almacenes) (COER-Arequipa, 2020).

Tabla 18. Arequipa. Población expuesta a inundaciones y movimientos en masa, enero-marzo 2021.

Provincia	Población expuesta a inundaciones			Población expuesta a movimientos en masa		
	Muy alto	Alto	Medio	Muy alto	Alto	Medio
Arequipa	6,189	25,253	1,036,115	560	5,828	1,074,247

Camana	25,238	13,505	15,551	1,190	17,730	40,444
Caraveli	1,899	16,003	12,511	1,744	13,651	25,951
Castilla	3,652	11,523	8,656	17,914	13,117	2,598
Caylloma	0	64,890	15,740	9,600	16,050	61,121
Condesuyos	0	2,547	2,316	2,227	5,336	8,555
Islay	892	8,057	18,361	5,343	73	46,618
La Unión	0	178	4,925	9,507	2,536	784

Fuente: CENEPRED (2021). Elaboración propia.

4.4. Departamento de Ayacucho

4.4.1. Características geográficas

El departamento de Ayacucho está localizado en la zona centro sur del país. Tiene una extensión territorial de 43,821 km². Limita al oeste con Ica y Huancavelica, al sur con Arequipa, al este con Cusco y Apurímac y al norte con Junín. Posee un terreno abrupto debido al cruce de dos cordilleras que separan las zonas en tropical y montañosa, altiplánica y escarpada (SINEACE, 2020).

Políticamente está dividido en 11 provincias y 124 distritos. Las provincias y la cantidad de distritos de cada una son: Huamanga (16), Cangallo (6), Huanca Sancos (4), Huanta (13), La Mar (15), Lucanas (21), Parinacochas (8), Páucar del Sara Sara (10), Sucre (11), Víctor Fajardo (12) y Vilcashuamán (8) (INEI, 2018).

4.4.2. Aspectos sociales

a) Población

En base al censo efectuado por INEI en 2017, la población total de Ayacucho es de 616,176 habitantes, perteneciendo el 58.1% a las zonas urbanas y el 41.9 % a las zonas rurales (INEI, 2018).

Tabla 19. Ayacucho. Población censada y tasa de crecimiento anual según provincia, 2017.

Provincia	2017		Tasa de crecimiento porcentual anual
	Absoluto	%	
Huamanga	282,194	45.8	2.5
Cangallo	30,443	4.9	-1.4
Huanca Santos	8,409	1.4	-2.3
Huanta	89,466	14.5	-0.4
La Mar	70,653	11.5	-1.7
Lucanas	51,328	8.3	-2.4

Parinacochas	27,659	4.5	-0.8
Páucar del Sara Sara	9,609	1.6	-1.4
Sucre	9,445	1.5	-2.8
Víctor Fajardo	20,109	3.3	-2.3
Vilcas Huamán	16,861	2.7	-3.3
Total	616,176	100	0.1

Fuente: INEI - Censos Nacionales de población y vivienda 2017. (2017).

b) Viviendas

Tabla 20. Ayacucho. Viviendas particulares y precarias a nivel provincia, 2017.

Provincia	Total de viviendas	Población	Viviendas precarias	Población
Huamanga	69,771	270,593	2,426	8,157
Cangallo	10,277	29,533	607	1,470
Huanca Santos	2,904	7,828	434	852
Huanta	24,955	86,628	6,518	20,978
La Mar	20,542	67,383	5,602	18,086
Lucanas	17,325	48,166	2,413	5,862
Parinacochas	7,772	24,362	669	1,626
Páucar del Sara Sara	3,108	8,715	276	761
Sucre	3,349	8,977	315	710
Víctor Fajardo	7,212	18,624	405	683
Vilcas Huamán	6,129	16,150	67	133
Total	173,344	586,959	19,732	59,318

FUENTE: INEI - Censos Nacionales de población y vivienda 2017 (2017).

c) Salud y Educación

Tabla 21. Ayacucho. Establecimientos de salud y centros educativos por provincia.

Provincias	Establecimientos Salud	Cantidad de colegios
Huamanga	169	942
Cangallo	30	224
Huanca Santos	13	68
Huanta	68	569
La Mar	58	565
Lucanas	62	491
Parinacochas	33	250

Páucar del Sara Sara	14	120
Sucre	21	132
Víctor Fajardo	32	154
Vilcas Huamán	24	182
Total	524	3,697

Fuente: Listado de Establecimientos Registrados en el RENIPRESS (2021) y Estadística de la Calidad Educativa (MINEDU) (2021). Elaboración propia.

4.4.3. Análisis de riesgo

Entre 2010 y 2018, el mayor número de desastres naturales en la región estuvieron relacionados a deslizamientos y huaicos producto del nivel y frecuencia de las lluvias, ocurridas en mayor medida en el área sur y centro de Ayacucho (INDECI, 2019).

Una vez que se ha identificado los parámetros de susceptibilidad como son: la precipitación de lluvias, las emergencias registradas y los puntos críticos por inundación; se realiza un análisis de exposición de una serie de peligros que pueden ser de dos tipos: directa, para distritos con probabilidad de presentar superávit de lluvias; e indirecta, para distritos que podrían resultar perjudicados debido al aumento del caudal de los ríos en la parte alta de las cuencas. El análisis de elementos expuestos involucra: población expuesta, infraestructura hidráulica, agricultura, viviendas, infraestructura de salud e infraestructura educativa (INDECI, 2019).

Tabla 22. Ayacucho. Población expuesta a inundaciones y movimientos en masa, enero-marzo 2021.

Provincia	Población expuesta a inundaciones			Población expuesta a movimientos en masa		
	Muy alto	Alto	Medio	Muy alto	Alto	Medio
Cangallo	0	4,056	9,080	20,966	5,342	4,135
Huamanga	0	2,836	232,013	30,396	248,184	3,614
Huanca Sancos	0	57	3,188	2,295	2,818	3,296
Huanta	10	7,114	50,412	11,530	76,387	1,516
La Mar	0	6,851	7,762	13,850	47,876	8,921
Lucanas	0	280	24,430	34,203	4,384	12,741
Parinacochas	0	1,550	14,534	19,073	3,721	4,865
Paucar del Sara Sara	0	778	4,676	3,432	3,402	2,775
Sucre	0	2,760	622	1,379	7,564	502
Victor Fajardo	0	22	601	2,194	17,559	356

Vilcas Huaman	0	323	269	2,229	12,328	2,304
----------------------	---	-----	-----	-------	--------	-------

Fuente: CENEPRED (2021). Elaboración propia.

4.5. Departamento de Apurímac

4.5.1. Características geográficas

El departamento de Apurímac se localiza en el centro sur del país. Posee una extensión territorial de 20,896 km². Limita al oeste con Ayacucho, al sur con Arequipa y al noreste con Cuzco. Su territorio es uno de los más accidentados del país, es atravesado de sur a norte por varios ríos y posee un clima que varía con la altitud; pudiendo ser cálido y húmedo, templado y seco o muy frío (Oficina de Gestión de la Información y Estadística, 2019).

Políticamente está dividido en 7 provincias y 84 distritos. Las provincias y la cantidad de distritos de cada una son: Abancay (9), Andahuaylas (20), Antabamba (7), Aymaraes (17), Cotabambas (6), Chincheros (11) y Grau (14) (INEI, 2018).

4.5.2. Aspectos sociales

a) Población

En base al censo efectuado por INEI en 2017, la población total de Apurímac es de 405,759 habitantes, perteneciendo el 45.8 % a las zonas urbanas y el 54.2 % a las zonas rurales (INEI, 2018).

Tabla 23. Apurímac. Población censada y tasa de crecimiento anual según provincia, 2017.

Provincia	2017		Tasa de crecimiento porcentual anual
	Absoluto	%	
Abancay	110,520	27.2	1.4
Andahuaylas	142,477	35.1	-0.1
Antabamba	11,310	2.8	-0.8
Aymaraes	24,307	6.0	-1.9
Cotabambas	50,656	12.5	1.0
Chincheros	45,247	11.2	-1.3
Grau	21,242	5.2	-1.7
Total	616,176	100	0.0

Fuente: INEI - Censos Nacionales de población y vivienda 2017. (2017).

b) Viviendas

Tabla 24. Apurímac. Viviendas particulares y precarias a nivel provincia, 2017.

Provincia	Total de viviendas	Población	Viviendas precarias	Población
Abancay	32,638	106,042	427	1,225
Andahuaylas	40,354	138,189	1,157	3,636
Antabamba	3,971	10,195	623	1,101
Aymaraes	8,593	22,930	256	510
Cotabambas	14,511	45,446	419	1,030
Chincheros	13,472	44,183	428	1,307
Grao	7,009	20,330	262	537
Total	120,548	387,315	3,572	9,346

FUENTE: INEI - Censos Nacionales de población y vivienda 2017 (2017).

c) Salud y Educación

La cantidad de establecimientos de salud se obtuvo a partir del informe “Análisis de situación de Salud Apurímac 2017” realizado por la Dirección Regional de Salud Apurímac (DIRESA Apurímac, 2017).

Tabla 25. Apurímac. Cantidad de centros de salud y centros educativos.

Provincias	Establecimientos Salud	Cantidad de colegios
Abancay	60	502
Andahuaylas	105	799
Antabamba	23	99
Aymaraes	52	210
Cotabambas	45	445
Chincheros	51	359
Grao	43	249
Total	379	2,663

Fuente: DIRESA Apurímac. Análisis de situación de salud Apurímac (2017) y Estadística de la Calidad Educativa (MINEDU) (2021). Elaboración propia.

4.5.3. Análisis de riesgo

Para determinar los escenarios de riesgo se consideran los peligros que pueden aparecer debido a las lluvias intensas durante el 2016 y 2017, también se consideran las condiciones de vulnerabilidades de la región. Los peligros identificados son: la recurrencia de lluvias en la región, los huaycos, derrumbes, deslizamientos, inundaciones y reptación de suelos (Apurímac, 2018).

Para identificar la vulnerabilidad se recopila información sobre la exposición de los habitantes, los medios de vida, la infraestructura, los servicios de educación y salud, y las vías de comunicación más importantes de la región (Apurímac, 2018).

Se han identificado tres parámetros de evaluación para determinar el riesgo: los distritos expuestos a elevados niveles de precipitación, la frecuencia de aparición de los peligros identificados anteriormente sobre estos distritos y la información sobre los puntos críticos por movimientos en masa e inundación de acuerdo con el informe técnico N° A6624 del INGEMMET sobre áreas críticas en la región (Apurímac, 2018).

Tabla 26. Apurímac. Población expuesta a inundaciones y movimientos en masa, enero-marzo 2021.

Provincia	Población expuesta a inundaciones			Población expuesta a movimientos en masa		
	Muy alto	Alto	Medio	Muy alto	Alto	Medio
Abancay	0	2	75,700	83,296	22,767	4,457
Andahuaylas	0	211	1,037	7,468	68,213	66,796
Antabamba	0	38	742	2,120	9,124	65
Aymaraes	0	15	1,321	2,593	14,732	6,982
Chincheros	0	1,074	769	1,806	26,822	16,619
Cotabambas	0	28	764	1,722	33,219	15,339
Graú	0	0	4	1,023	14,399	5,820

Fuente: CENEPRED (2021). Elaboración propia.

4.6. Departamento de Ica

4.6.1. Características geográficas

El departamento de Ica se localiza en la zona central occidental del país y posee una extensión de 21,327 km². Limita al oeste con el Océano Pacífico, al sur con Arequipa, al norte con Lima y al este con Huancavelica y Ayacucho. Cuenta con un clima templado y desértico. Cuenta con valles, pampas y extensos desiertos, así también como un litoral donde se encuentra la Península de Paracas (MINSA Peru, 2015).

Políticamente se divide en 5 provincias y 44 distritos, estos son: Ica (14), Chíncha (11), Nazca (5), Palpa (5), Pisco (9) (INEI, 2018).

4.6.2. Aspectos sociales

a) Población

En base al censo efectuado por INEI en 2017, la población total de Ica es de 850,765 habitantes, perteneciendo el 91.4 % a las zonas urbanas y el 8.6 % a las zonas rurales (INEI, 2018).

Tabla 27. Ica. Población censada y tasa de crecimiento anual según provincia, 2017.

Provincia	2017		Tasa de crecimiento porcentual anual
	Absoluto	%	
Ica	391,519	46.0	2.0
Chincha	226,113	26.6	1.5
Nasca	69,157	8.1	1.9
Palpa	13,232	1.6	0.3
Pisco	150,744	17.7	1.8
Total	850,765	100	1.8

FUENTE: INEI – Censos nacionales de población y vivienda (2017).

b) Viviendas

Tabla 28. Ica. Viviendas particulares y precarias a nivel provincia, 2017.

Provincia	Total de viviendas	Población	Viviendas precarias	Población
Ica	100,180	379,324	15,863	49,400
Chincha	57,134	219,521	9,815	34,335
Nasca	20,035	65,432	3,642	10,157
Palpa	4,126	13,054	642	1,948
Pisco	40,204	147,613	9,095	31,096
Total	221,679	824,944	39,057	126,936

FUENTE: INEI – Censos nacionales de población y vivienda (2017). Elaboración propia.

c) Salud y Educación

Tabla 29. Ica. Cantidad de centros de salud y centros educativos.

Provincias	Establecimientos Salud	Cantidad de colegios
Ica	173	878
Chincha	83	647
Nasca	40	202
Palpa	21	96
Pisco	63	371
Total	380	2,194

Fuente: Listado de Establecimientos Registrados en el RENIPRESS (2021) y Estadística de la Calidad Educativa (MINEDU) (2021). Elaboración propia.

4.6.3. Análisis de riesgo

Para el análisis de susceptibilidad se dispuso del mapa de susceptibilidad por movimientos en masa realizado por INGEMEMT y el informe técnico de escenarios probables de niveles de lluvia superiores a lo normal realizado por SENAMHI. Luego se identificaron los elementos expuestos dentro del escenario de peligro generado por inundación y movimientos en masa, tales como población, vivienda, infraestructura pública (establecimiento de salud, centros educativos) e infraestructura vial (Gobierno Ica, 2020).

Tabla 30. Ica. Población expuesta a inundaciones y movimientos en masa, enero-marzo 2021.

Provincia	Población expuesta a inundaciones			Población expuesta a movimientos en masa		
	Muy alto	Alto	Medio	Muy alto	Alto	Medio
Chincha	135,448	86,118	61	2,945	339	222,769
Ica	262,581	96,936	31,734	78	723	390,716
Nasca	24,346	25,686	18,278	336	51,300	17,521
Palpa	4,873	4,383	2,923	98	287	12,847
Pisco	76,905	71,444	668	143	311	150,290

Fuente: CENEPRED (2021). Elaboración propia.

4.7. Departamento de Moquegua

4.7.1. Características geográficas

El departamento de Moquegua se localiza en la zona sur del país, por el lado oeste de la cordillera de los Andes. Posee una extensión de 15,734 km² y limita al oeste con el Océano Pacífico, al sur con Tacna, al este con Puno y al norte con Arequipa. Posee zonas de sierra y costa con alturas que van desde 0 a 6000 m.s.n.m. y suelos volcánicos con quebradas, áreas desérticas y rocosas. El clima se caracteriza por ser árido y semicálido (GERESA Moquegua, 2018).

Políticamente está dividido en 3 provincias y 21 distritos: Moquegua (7), Omate (11) e Ilo (3) (INEI, 2018).

4.7.2. Aspectos sociales

a) Población

En base al censo efectuado por INEI en 2017, la población total de Moquegua es de 174,863 habitantes, perteneciendo el 86.9 % a las zonas urbanas y el 13.1 % a las zonas rurales (INEI, 2018).

Tabla 31. Moquegua. Población censada y tasa de crecimiento anual según provincia, 2017.

Provincia	2017		Tasa de crecimiento porcentual anual
	Absoluto	%	
Mariscal Nieto	85,349	48.8	1.6
General Sánchez Cerro	14,865	8.5	-5.0
Ilo	74,649	42.7	1.6
Total	174,863	100	0.8

FUENTE: INEI – Censos nacionales de población y vivienda (2017)

b) Viviendas

Tabla 32. Moquegua. Viviendas particulares y precarias a nivel provincia, 2017.

Provincia	Total de viviendas	Población	Viviendas precarias	Población
Mariscal Nieto	27,447	79,662	6,519	17,113
General Sánchez Cerro	6,218	14,009	469	899
Ilo	22,792	72,237	4,002	11,692
Total	56,457	165,908	10,990	29,704

FUENTE: INEI – Censos nacionales de población y vivienda (2017).

c) Salud y Educación

Tabla 33. Cantidad de centros de salud y centros educativos.

Provincias	Establecimientos Salud	Cantidad de colegios
Mariscal Nieto	69	257
General Sánchez Cerro	28	268
Ilo	31	145
Total	128	670

FUENTE: Listado de Establecimientos Registrados en el RENIPRESS (2021) y Estadística de la Calidad Educativa (MINEDU) (2021). Elaboración propia.

4.7.3. Análisis de riesgo

Para establecer el nivel de riesgo en la región se tienen en cuenta los informes técnicos de SENAMHI (para el pronóstico de lluvias), INGEMMET (para la susceptibilidad ante movimientos en masa) y CENEPRED (para la susceptibilidad ante inundaciones). Luego se realiza un análisis de los elementos expuestos, en el caso de Moquegua se consideran

como elementos expuestos personas, instituciones educativas, viviendas, establecimientos de salud y áreas de cultivos (INDECI, 2021).

Tabla 34. Moquegua. Población expuesta a inundaciones y movimientos en masa, enero-marzo 2021.

Provincia	Población expuesta a inundaciones			Población expuesta a movimientos en masa		
	Muy alto	Alto	Medio	Muy alto	Alto	Medio
General	0	1,624	1,069	5,062	3,248	6,555
Sanchez Cerro						
Ilo	0	359	70,576	0	3	74,646
Mariscal Nieto	0	29,983	11,371	6,080	40,026	39,243

Fuente: CENEPRED (2021). Elaboración propia.

4.8. Departamento de Puno

4.8.1. Características geográficas

El departamento de Puno está localizado en la zona sur del país y posee una extensión de 66,997 km². Limita al oeste con Moquegua, Arequipa y Cusco, al sur con Tacna y al norte con Madre de Dios. En este departamento se encuentra el lago Titicaca. Generalmente, su clima varía entre frío y cálido (Oficina de Gestión de la Información y Estadística, 2019).

Políticamente está dividido en 13 provincias y 110 distritos: San Román (5), Puno (15), Azángaro (15), Chucuito (7), Carabaya (10), Melgar (9), El Collao (5), Huancané (8), Sandía (10), Lampa (10), Yunguyo (7), San Antonio de Putina (5) y Moho (4) (INEI, 2018).

4.8.2. Aspectos sociales

a) Población

En base al censo efectuado por INEI en 2017, la población total de Puno es de 1,172,697 habitantes, perteneciendo el 53.8 % a las zonas urbanas y el 46.2 % a las zonas rurales (INEI, 2018).

Tabla 35. Puno. Población censada y tasa de crecimiento anual según provincia, 2017.

Provincia	2017		Tasa de crecimiento porcentual anual
	Absoluto	%	
Puno	219,494	18.7	-0.4
Azángaro	110,392	9.4	-2.1
Carabaya	73,322	6.3	-0.1

Chucuito	89,002	7.6	-3.4
El Collao	63,878	5.4	-2.4
Huancané	57,651	4.9	-1.9
Lampa	40,856	3.5	-1.6
Melgar	67,138	5.7	-1.1
Moho	19,753	1.7	-3.4
San Antonio de Putina	36,113	3.1	-3.3
San Román	307,417	26.2	2.5
Sandia	50,742	4.3	-2.0
Yunguyo	36,939	3.1	-2.5
Total	1,172,697	100	-0.8

FUENTE: INEI – Censos nacionales de población y vivienda (2017).

b) Viviendas

Tabla 36. Puno. Viviendas particulares y precarias a nivel provincia, 2017.

Provincia	Total de viviendas	Población	Viviendas precarias	Población
Puno	70,905	210,010	2,628	5,552
Azángaro	37,259	107,954	1,382	3,193
Carabaya	23,850	71,020	10,079	26,874
Chucuito	35,943	87,148	1,337	3,140
El Collao	25,642	61,209	891	1,704
Huancané	23,030	56,844	618	1,248
Lampa	15,287	39,452	2,243	4,513
Melgar	20,858	62,368	1,280	3,021
Moho	8,918	19,262	365	740
San Antonio de Putina	12,315	32,656	4,426	9,306
San Román	79,164	301,284	585	1,732
Sandia	19,425	48,579	12,501	31,082
Yunguyo	14,075	35,113	91	167
Total	386,671	1,122,899	38,426	92,272

FUENTE: INEI – Censos nacionales de población y vivienda (2017).

c) Salud y Educación

Tabla 37. Puno. Cantidad de centros de salud y centros educativos.

Provincias	Establecimiento Salud	Cantidad de colegios
------------	-----------------------	----------------------

Puno	189	954
Azángaro	45	864
Carabaya	42	412
Chucuito	52	632
El Collao	58	475
Huancané	40	486
Lampa	32	294
Melgar	45	446
Moho	16	245
San Antonio de Putina	11	177
San Román	130	802
Sandia	38	428
Yunguyo	17	199
Total	715	6,414

FUENTE: Listado de Establecimientos Registrados en el RENIPRESS (2021) y Estadística de la Calidad Educativa (MINEDU) (2021). Elaboración propia.

4.8.3. Análisis de riesgo

Para determinar los escenarios de riesgos se realizan los siguientes pasos: recopilación de información proveniente de INEI, INDECI, SENAMHI, entre otros; análisis de los datos para determinar las zonas con probabilidad de superávit de lluvia; identificación de distritos expuestos; caracterización del fenómeno de lluvias intensas y análisis de elementos expuestos (población, viviendas, infraestructura de salud y educación). El análisis también se apoya en registros históricos de emergencias y puntos críticos por inundación (Municipalidad Provincial de Puno, 2020).

Tabla 38. Puno. Población expuesta a inundaciones y movimientos en masa, enero-marzo 2021.

Provincia	Población expuesta a inundaciones			Población expuesta a movimientos en masa		
	Muy alto	Alto	Medio	Muy alto	Alto	Medio
Azangaro	0	60,282	29856	40,876	39,239	30277
Carabaya	0	13,231	5227	10,983	40,959	15438
Chucuito	0	20,780	16445	3944	63,709	21349
El Collao	0	51,357	4671	1101	23,955	38534
Huancane	0	21,567	11314	3953	33,233	19506
Lampa	5	14,392	10188	4730	19,604	16522
Melgar	0	33,168	14526	9092	53,227	4819

Moho	0	75	968	0	11,902	4604
Puno	0	21,668	15987	8405	185,067	19716
San Antonio de Putina	0	15,820	2124	13,117	22,116	880
San Roman	0	296,820	6943	2120	8699	296598
Sandia	0	417	1463	18,790	27,141	4115
Yunguyo	0	9428	2256	167	33,506	1280

Fuente: CENEPRED (2021). Elaboración propia.

4.9. Departamento de Tacna

4.9.1. Características geográficas

El departamento de Tacna se localiza en la zona extrema sur del Perú y posee una extensión de 16,076 km². Limita al oeste con el Océano Pacífico, al sur con Chile, al este con Bolivia y al norte con Moquegua y Puno. Se encuentra atravesada por la Cordillera de los Andes, que divide el departamento en zona costa (con tierras arenosas y valles) y zona sierra (con cerros y volcanes apagados). Durante la temporada de invierno se presentan un fenómeno de bajas temperaturas, acompañado de neblina (Dirección Ejecutiva de Epidemiología, 2015).

Políticamente el departamento está dividido en 4 provincias y 28 distritos: Tacna (11), Candarave (6), Jorge Basadre (3) y Tarata (8) (INEI, 2018).

4.9.2. Aspectos sociales

a) Población

En base al censo efectuado por INEI en 2017, la población total de Puno es de 329,332 habitantes, perteneciendo el 90.1 % a las zonas urbanas y el 9.9 % a las zonas rurales (INEI, 2018).

Tabla 39. Tacna. Población censada y tasa de crecimiento anual según provincia, 2017.

Provincia	2017		Tasa de crecimiento porcentual anual
	Absoluto	%	
Tacna	306,363	92.9	1.5
Candarave	6,102	1.9	-3.1
Jorge Basadre	10,773	3.3	0.9
Tarata	6,094	1.9	-2.4
Total	329,332	100	1.3

FUENTE: INEI – Censos nacionales de población y vivienda (2017).

b) Viviendas

Tabla 40. Tacna. Viviendas particulares y precarias a nivel provincia, 2017.

Provincia	Total de viviendas	Población	Viviendas precarias	Población
Tacna	89,781	292,188	8,894	22,133
Candarave	2,413	5,758	138	298
Jorge Basadre	3,065	8,194	1,348	3,524
Tarata	2,286	5,056	127	205
Total	97,545	311,196	10,507	26,160

FUENTE: INEI – Censos nacionales de población y vivienda (2017).

c) Salud y Educación

Tabla 41. Tacna. Cantidad de centros de salud y centros educativos.

Provincias	Establecimientos Salud	Cantidad de colegios
Tacna	437	773
Candarave	11	88
Jorge Basadre	13	83
Tarata	14	89
Total	475	1,033

FUENTE: Listado de Establecimientos Registrados en el RENIPRESS (2021) y Estadística de la Calidad Educativa (MINEDU) (2021). Elaboración propia.

4.9.3. Análisis de riesgo

CENEPRED realiza un análisis de la información proporcionada por SENAMHI, INFEMMET e INDECI y describe los riesgos, vulnerabilidades y amenazas para la correcta prevención y respuesta del manejo de riesgos y desastres por parte de la Red de Salud Tacna. Se realizan mapas de riesgo por movimientos en masa e inundaciones ante los efectos de las precipitaciones, en ellos se diferencian los niveles de riesgo de cada distrito. Luego, para la identificación de la vulnerabilidad se toman en cuenta los siguientes aspectos: establecimientos de salud expuestos, incidencia de pobreza, anemia y nivel de cobertura frente a ciertas enfermedades (DIRESA Tacna, 2018).

Tabla 42. Tacna. Población expuesta a inundaciones y movimientos en masa, enero-marzo 2021.

Provincia	Población expuesta a inundaciones			Población expuesta a movimientos en masa		
	Muy alto	Alto	Medio	Muy alto	Alto	Medio
Candarave	0	247	1,670	1,846	1,848	2,408

Jorge Basadre	267	1,904	2,535	565	4,902	5,306
Tacna	2,413	296,186	5,323	510	1,698	304,155
Tarata	0	656	444	3,635	1,653	806

Fuente: CENEPRED (2021). Elaboración propia.



5. Capítulo 5. Propuesta de distribución de almacenes

En este capítulo se desarrolla la propuesta para localizar los almacenes que se instalarán. Esta propuesta consta de dos partes: primero se crea un modelo de clustering con python para identificar la localización de los posibles almacenes, agrupando los distritos de los departamentos que conforman la zona de estudio; luego estas localizaciones se utilizan como datos de entrada para crear un modelo de programación entera en AMPL, que permita determinar la cantidad de almacenes que deben instalarse y los distritos que atiende cada almacén.

5.1. Modelo de clustering

Para determinar la ubicación de los potenciales almacenes adelantados se debe realizar un agrupamiento de los distritos que estén más cercanos entre sí. Para ello, se creó un modelo de clustering empleando el método KMeans. El objetivo fue clasificar los 624 distritos en subgrupos en relación con su cercanía, y determinar la ubicación de un almacén en los centroides de cada subgrupo. Para realizar el modelo clustering se utilizó el lenguaje de programación Python, que cuenta con las librerías *numpy* y *pandas* para el análisis de datos, *matplotlib* para los gráficos, y *sklearn* para la creación del modelo. La programación se realizó en el entorno de Jupyter Notebook.

Como referencia de la situación actual, la tabla 43 lista los departamentos que forman parte de la zona de estudio, la cantidad de provincias, distritos y los almacenes con los que cuentan actualmente.

Tabla 43. Cantidad de provincias, distritos y almacenes por departamento.

Región	Provincias	Distritos	Almacenes Nacionales	Almacenes Regionales	Almacenes Adelantados	Total Almacenes
Cuzco	13	111	1	1	5	7
Apurímac	7	84	1	1	2	4
Arequipa	8	109	1	1	7	9
Ayacucho	11	119	-	1	5	6
Ica	5	43	1	1	4	6
Moquegua	3	20	-	1	5	6
Puno	13	110	2	1	15	18
Tacna	4	28	1	1	5	7
Total	64	624	7	8	48	63

Fuente: INDECI (2021). Elaboración propia.

A continuación se detallan los pasos realizados para la creación del modelo.

a) Preprocesamiento

Se creó una base de datos para organizar la información relevante. Se buscó información de la ubicación en coordenadas de cada distrito, y se le asignó un código a cada uno, que sigue la siguiente estructura:

ARE-1-3

(Iniciales del departamento – Número de provincia – Número de distrito)

En base a los informes de riesgo elaborados por CENEPRED y presentados en el capítulo 4, se agregó a la base de datos el número de habitantes que se encuentran en riesgo muy alto, alto y normal de verse afectados por huaicos e inundaciones. En la tabla 44 se puede apreciar la estructura que tiene la base de datos. En el anexo 1 se observa la lista completa de distritos.

Tabla 44. Estructura de la base de datos para clustering.

Departamento	Provincia	Distrito	Código	Coordenada X	Coordenada Y	Población vulnerable
Arequipa	Arequipa	Cayma	ARE-1-3	71.5456	-16.3817	91,935
Cusco	Acomayo	Acomayo	CUS-1-1	71.685	-13.9189	4,532

Elaboración propia.

Con los 624 distritos ubicados, la figura 20 muestra un diagrama de dispersión de los distritos, que se realizó utilizando la librería *matplotlib*, diferenciando los departamentos por color.

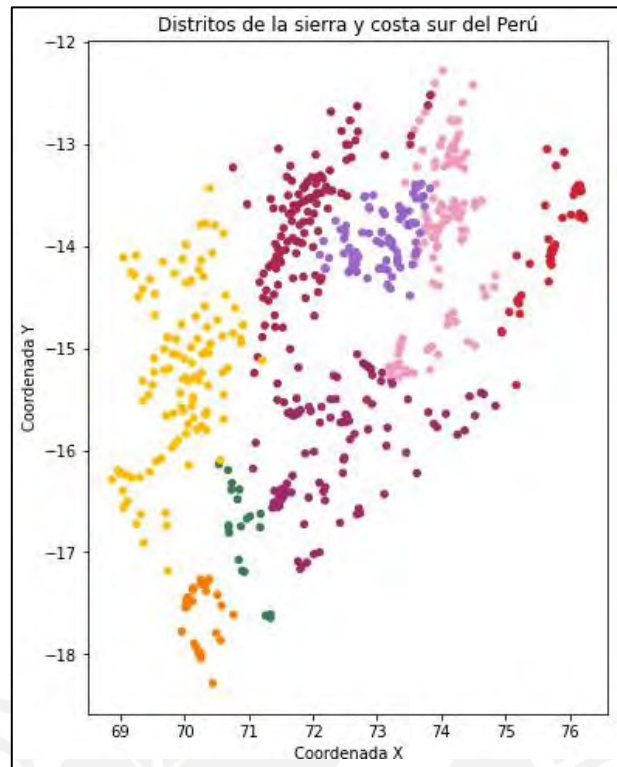


Figura 20. Gráfico de dispersión de los distritos de la costa y sierra sur del Perú.

Con un pequeño ajuste se obtuvo un gráfico que considera el tamaño de población vulnerable en cada uno de los distritos. La figura 21 muestra dicho gráfico.

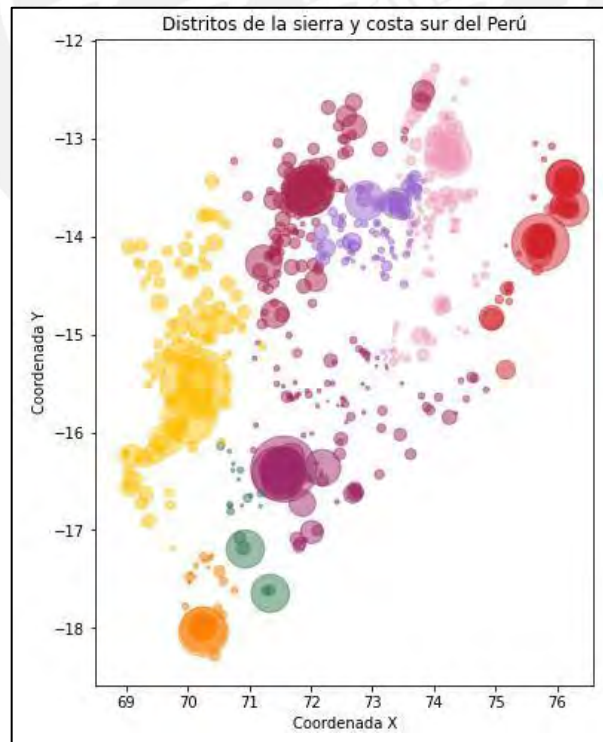


Figura 21. Gráfico de dispersión de los distritos de la costa y sierra sur del Perú según tamaño de población vulnerable.

b) Determinación del número de clústeres

Para establecer el número de clústeres se emplearon los dos métodos descritos en el capítulo 1: el método del codo y el método de la silueta. La aplicación de ambos se realizó utilizando Python y la librería *sklearn*.

En la figura 22 se observa el código utilizado para aplicar el análisis por el método del codo, y en la figura 23 su gráfica respectiva. El algoritmo de clustering que se utilizó fue Kmeans y el rango de clústeres fue de 3 a 20 clústeres.

```
from sklearn.cluster import KMeans
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.ticker as mticker

#Within Cluster Sum of Squares
inercia = []

K = range(3,20)
for k in K:
    kmeans = KMeans(n_clusters=k, init='k-means++',max_iter=300,n_init=100).fit(X)
    inercia.append(kmeans.inertia_)

plt.gca().xaxis.set_major_formatter(mticker.FormatStrFormatter('%0f'))

plt.plot(K, inercia,'bx-')
plt.xlabel('Clústeres',labelpad=1)
plt.ylabel('Inercia (Within Cluster Sum of Square)')
plt.title('Método del Codo')
plt.show()
```

Figura 22. Código para aplicar el método del codo.

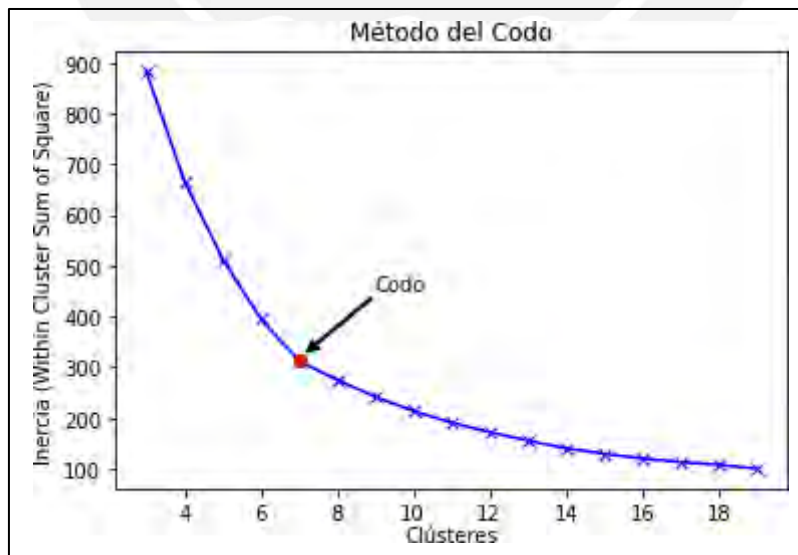


Figura 23. Gráfica del método del codo.

Como se aprecia en la figura 23, el valor de Inercia (distancia intraclúster) deja de disminuir significativamente a partir del clúster 7. Lo que significa que crear 7 clústeres sería lo óptimo. Sin embargo, la base de datos contiene 624 distritos, por lo que se necesita una mayor cantidad de almacenes adelantados para atender de forma eficiente los distritos cercanos.

Para un mejor análisis, se aplicó el análisis por el método de la silueta, que realiza agrupamientos sucesivos para diferentes cantidades de clústeres y otorga un puntaje que va de -1 a 1 que mide cuán cerca están los puntos dentro de un clúster (distancia intraclúster) y cuán lejos están de otros clústeres vecinos (distancia interclúster). El algoritmo de clustering que se utilizó fue Kmeans y el rango de clústeres fue de 3 a 80 clústeres (actualmente el país cuenta con 48 almacenes adelantados en el área de estudio). En la figura 24 se observa el código utilizado para aplicar el análisis por el método de la silueta, y en la figura 25 su gráfica respectiva.

```
from sklearn.metrics import silhouette_score
import matplotlib.pyplot as plt

#Silhouette Score
silueta = []

K = range(3,80)
for k in K:
    kmeans = KMeans(n_clusters=k,max_iter=1000,n_init=40).fit(X)
    labels = kmeans.labels_
    silueta.append(silhouette_score(X,labels,metric='euclidean'))

plt.plot(K, silueta,'bx-')
plt.xlabel('Clusters')
plt.ylabel('Silhouette Score')
plt.title('Método de la Silueta')
plt.show()
```

Figura 24. Código para aplicar el método de la silueta.

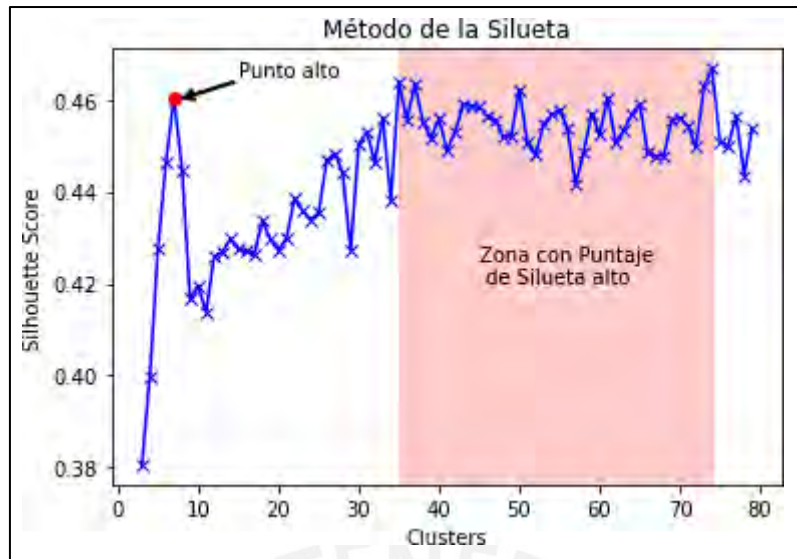


Figura 25. Análisis de clústeres utilizando el método de la silueta.

En la figura 25 vemos que los puntajes más altos se alcanzan en 7 clústeres (respaldando los resultados del método del codo), pero también se alcanzan puntajes altos en un rango alrededor de 36 a 72 clústeres. Considerando esto, se decidió realizar un agrupamiento de 72 clústeres, para de esta forma, evaluar la instalación de hasta 72 almacenes potenciales.

Por último, se evaluó el rendimiento de *clustering*, utilizando la fórmula descrita en el capítulo 1:

$$\text{Rendimiento} = \frac{BCSS}{TSS} = \frac{BCSS}{WCSS + BCSS}$$

Donde:

- *BCSS*: Between Clusters Sum of Squares
- *WCSS*: Within Clusters Sum of Squares
- *TSS*: Total Sum of Squares

Los resultados se observan en la tabla 45. Se aprecia que el rendimiento del clustering es mayor conforme aumenta la cantidad de clústeres, y que a partir de los 7 clústeres, la variación del rendimiento es muy pequeña (menor a 1%). Esto se puede observar de manera gráfica en la ilustración 4, donde se forma un codo en dicha cantidad de clústeres.

Tabla 45. Resultado de la evaluación del rendimiento de clustering.

Clústeres (k)	WCSS	BCSS	Rendimiento
3	882.19	2,015.15	69.55 %
4	665.94	2,231.4	77.02 %
5	512.95	2,384.38	82.3 %
6	394.9	2,502.44	86.37 %
7	312.63	2,584.71	89.21 %
8	274.61	2,622.53	90.52 %
9	241.61	2,655.73	91.66 %
10	213.59	2,683.75	92.63 %
11	190.62	2,706.72	93.42 %
12	172.57	2,724.76	94.04 %
13	154.93	2,742.41	94.65 %
14	140.23	2,757.11	95.16 %
15	129.14	2,768.19	95.54 %
16	119.89	2,777.45	95.86 %
17	113.4	2,783.94	96.09 %
18	107	2,790.34	96.31 %
21	89.39	2,807.95	96.91 %
24	74.85	2,822.49	97.42 %
27	63.54	2,833.8	97.81 %
30	55.72	2,841.61	98.08 %
36	43.81	2,853.52	98.49 %
42	35.52	2,861.81	98.77 %
48	30.13	2,867.21	98.96 %
54	26.01	2,871.33	99.1 %
60	22.27	2,875.06	99.23 %
66	20.12	2,877.14	99.31 %
72	17.92	2,879.41	99.38 %

Fuente: Elaboración propia

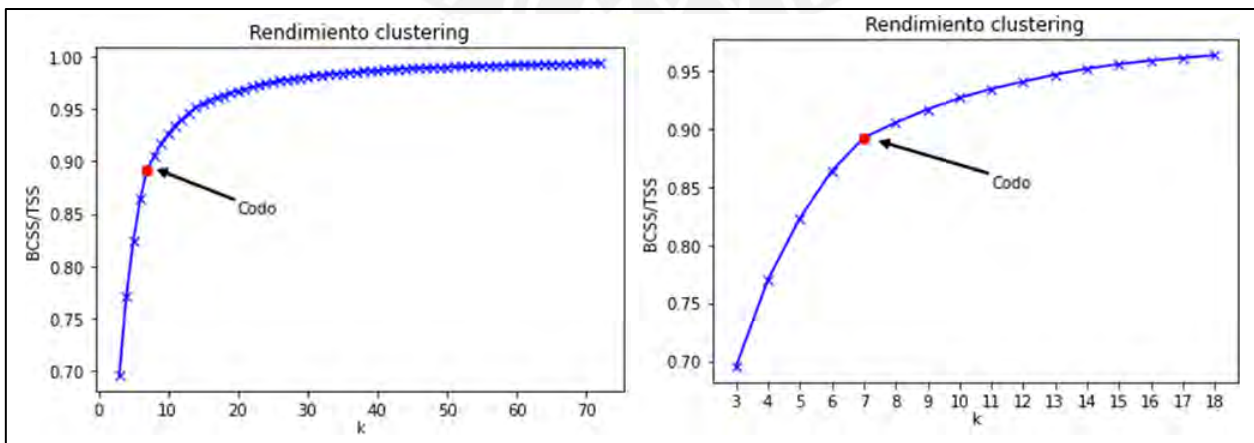


Ilustración 4. Evaluación del rendimiento de clustering para diferentes valores de k. Vista general (izquierda) y vista acercada (derecha)

c) Modelo de clustering utilizando el método Kmeans

La base del algoritmo KMeans consiste en seleccionar aleatoriamente de entre todos los puntos disponibles unos cuantos que son designados como candidatos a centroides, e ir tomando distancia entre cada punto. Para construir el modelo se utilizó la librería de Python *KMeans*, del paquete *sklearn*. Indicando como número de clústeres igual a 72, se obtuvo la agrupación presentada en la figura 26; asimismo, se obtuvo la ubicación teórica de los almacenes adelantados como el centroide de los clústeres formados, marcando dichos centroides con una 'x'.

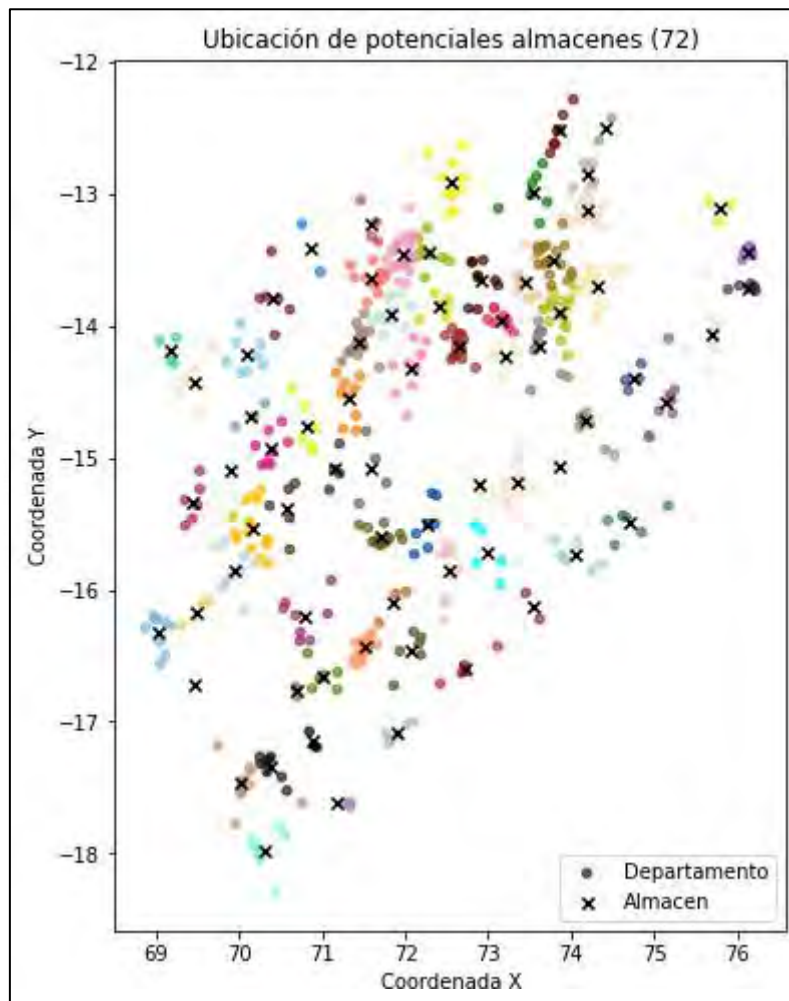


Figura 26. Clustering utilizando el algoritmo KMeans.

La lista con la ubicación teórica de cada uno de los posibles almacenes se muestra en la tabla 46, donde a cada almacén se le asigna un código.

Tabla 46. Lista de almacenes y sus ubicaciones teóricas.

Código del Almacén	Coord. X	Coord. Y	Código del Almacén	Coord. X	Coord. Y
1	72.8486	-13.6461	37	73.8514	-15.0692
2	73.1507	-13.9504	38	71.8516	-13.8809

3	72.6397	-14.1504	39	71.4575	-14.0881
4	73.4386	-13.7039	40	72.0470	-13.4303
5	73.6849	-14.0754	41	71.6316	-13.6251
6	73.1021	-13.6728	42	71.5945	-13.2347
7	73.2231	-14.2470	43	70.8659	-13.4092
8	72.1498	-14.1904	44	72.5561	-12.9082
9	72.4369	-13.7257	45	71.3081	-14.4534
10	73.6372	-13.4720	46	71.2631	-14.9593
11	73.9034	-13.3910	47	76.1328	-13.4382
12	71.5150	-16.4308	48	75.7826	-13.1122
13	72.0682	-16.2996	49	75.6546	-14.0954
14	70.7887	-16.2363	50	75.1251	-14.6359
15	71.8977	-17.0358	51	76.0581	-13.6943
16	72.7300	-16.5976	52	70.9124	-16.7193
17	73.4058	-16.0694	53	71.3161	-17.6274
18	74.7086	-15.4920	54	70.8929	-17.1507
19	74.0494	-15.7412	55	70.0414	-15.4448
20	73.3426	-15.1905	56	70.3995	-14.6547
21	72.4138	-15.5723	57	70.2606	-15.0472
22	72.5321	-16.0253	58	69.8086	-14.9350
23	72.0378	-15.6253	59	70.0442	-14.2107
24	71.6545	-15.5817	60	69.2884	-14.3070
25	71.7092	-15.0996	61	70.2522	-15.7140
26	72.9447	-15.6580	62	69.0955	-16.3082
27	71.9061	-14.4519	63	70.4124	-13.7901
28	72.8924	-15.1998	64	69.4725	-16.7246
29	74.3253	-13.6955	65	70.0325	-17.4355
30	73.9046	-13.8087	66	69.8169	-15.9590
31	74.1998	-13.0961	67	69.5176	-15.3013
32	74.2861	-12.6650	68	70.5708	-15.3895
33	73.8265	-12.5510	69	70.7997	-14.8277
34	73.5127	-13.0290	70	70.3462	-17.3224
35	74.1610	-14.7108	71	70.5987	-17.6995
36	74.7505	-14.3966	72	70.2166	-17.9924

Fuente: Elaboración propia

5.2. Modelo de programación entera

De un total de 72 localizaciones para posibles almacenes, se debe seleccionar cuántos se instalarán (definido como P) y a qué distritos atenderá cada uno, teniendo en cuenta la

distancia hacia cada uno de los distritos y su respectiva demanda. A la multiplicación de estos dos parámetros se le nombra como 'distancia ponderada'. Por lo tanto, el objetivo será encontrar las mejores P localizaciones de almacenes que minimicen la distancia ponderada del almacén al distrito, asumiendo que cada almacén puede satisfacer la demanda completa del distrito y que toda la demanda es satisfecha.

Con la ubicación en coordenadas de cada distrito se construyó una matriz de distancias. Para simplificar los cálculos se utilizaron distancias lineales, empleando la fórmula de la distancia euclidiana. Como resultado, la distancia del distrito a al almacén b se calculó de la siguiente forma:

$$Distancia (km.)_{ab} = K * \sqrt{(CoordY_a - CoordY_b)^2 + (CoordX_a - CoordX_b)^2}$$

Donde:

$CoordX_a, CoordY_a$: Latitud y longitud del distrito a en decimales.

$CoordX_b, CoordY_b$: Latitud y longitud del almacén b en decimales.

K : Factor de conversión a kilómetros equivalente a 111

En la tabla 47 se puede apreciar la estructura que tiene la matriz de distancias entre distritos y almacenes. La matriz completa se puede visualizar en el archivo Excel adjunto 'Matriz de distancias euclidianas Distrito - Almacen.xlsx'.

Tabla 47. Estructura de la matriz de distancias (km.) entre distrito y almacén.

Distrito / Almacén	1	2	3	4	5
APU-1-1	3.85	46.15	63.29	62.37	101.79
APU-1-2	37.06	17.72	45.01	56.59	78.29
APU-1-3	25.43	31.96	40.17	65.55	92.84
APU-1-4	50.23	54.78	10.39	94.12	112.66
APU-1-5	18.92	55.16	79.33	59.93	104.55

Elaboración propia.

Si se quisiera trabajar con distancias reales entre distritos se puede utilizar la distancia ortodrómica, también llamada distancia esférica o distancia del gran círculo, que se define como la menor distancia entre dos puntos medida sobre la superficie de una esfera, tal como se muestra en la figura 27.

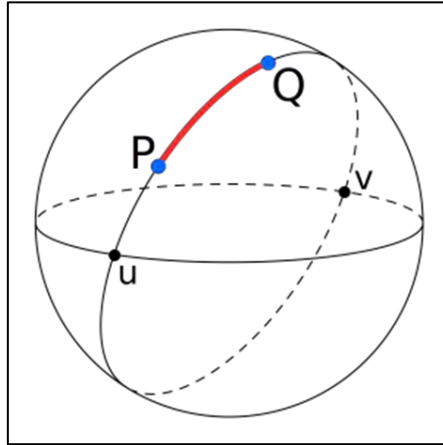


Figura 27. Distancia ortodrómica entre dos puntos de una esfera.
Fuente: Wikipedia.

Para obtener la distancia ortodrómica entre dos puntos de la tierra se puede utilizar la Fórmula del Semiverseno, expresada de la siguiente manera (Maria, Budiman, Havaluddin, & Taruk, 2020):

$$d_{12} = 2 * r * \arcsen \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) * \cos(\phi_2) * \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right)$$

Donde:

d : Distancia ortodrómica entre el punto 1 y 2 en km.

r : Radio de la esfera. El radio de la Tierra es 6371 km.

ϕ_1, λ_1 : Latitud y longitud del punto 1, expresado en radianes.

ϕ_2, λ_2 : Latitud y longitud del punto 2, expresado en radianes.

Como análisis complementario, se empleó el lenguaje de programación Python y el entorno de Jupyter Notebook, para programar la fórmula de distancia ortodrómica y hallar las distancias reales en km. tanto de distritos a almacenes como de distritos a otros distritos. En la figura 28 se observa el código empleado.

```

from math import radians, cos, sin, asin, sqrt

def distancia(lat1, lat2, lon1, lon2):

    # Convertir Longitud y Latitud a radianes
    lon1 = radians(lon1)
    lon2 = radians(lon2)
    lat1 = radians(lat1)
    lat2 = radians(lat2)

    # Distancia ortodrómica
    dlon = lon2 - lon1
    dlat = lat2 - lat1
    a = sin(dlat / 2)**2 + cos(lat1) * cos(lat2) * sin(dlon / 2)**2

    c = 2 * asin(sqrt(a))

    # Radio de la tierra en kilómetros
    r = 6371

    return(c * r)

```

Figura 28. Código utilizado para obtener la distancia ortodrómica dadas las coordenadas de dos puntos.

En la tabla 48 se puede apreciar la estructura que tiene la matriz de distancias ortodrómicas de distrito a almacén. La matriz completa se puede visualizar en el archivo Excel adjunto 'Matriz de distancias ortodrómicas Distrito – Almacen.xlsx'.

Tabla 48. Estructura de la matriz de distancias ortodrómicas (km.) entre distrito y almacén.

Distrito / Almacén	1	2	3	4	5
APU-1-1	3.76	45.67	63.07	60.74	99.69
APU-1-2	36.94	17.23	44.08	55.43	76.17
APU-1-3	25.47	31.15	39.75	63.93	90.41
APU-1-4	50.10	53.33	10.37	92.03	109.47
APU-1-5	18.81	54.97	79.07	58.59	102.84

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo en la tabla 49 se puede apreciar la estructura que tiene la matriz de distancias ortodrómicas entre distritos. La matriz completa se puede visualizar en el archivo Excel adjunto 'Matriz de distancias ortodrómicas Distrito – Distrito.xlsx'.

Tabla 49. Estructura de la matriz de distancias ortodrómicas (km.) entre distritos.

Distrito / Almacén	APU-1-1	APU-1-2	APU-1-3	APU-1-4	APU-1-5
APU-1-1	0.00	36.90	26.70	52.77	16.01
APU-1-2	36.90	0.00	15.18	36.88	50.03
APU-1-3	26.70	15.18	0.00	30.29	42.05
APU-1-4	52.77	36.88	30.29	0.00	68.76

APU-1-5	16.01	50.03	42.05	68.76	0.00
---------	-------	-------	-------	-------	------

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1. Construcción del modelo

A continuación, se describen los pasos utilizados para la construcción del modelo de programación entera, utilizando el programa especializado AMPL.

a) Definición de parámetros

- La lista de localizaciones de distritos que se deben atender está representada por la letra J . Y cada distrito está representado por una j .
- La demanda de cada distrito j está representada por d_j
- La lista de potenciales localizaciones de almacenes está representado por la letra I . Y cada localización está representada por una i .
- La matriz de distancia de la localización de almacén i al distrito ubicado en la localización j está representada por $dist_{i,j}$.

b) Función objetivo

Minimizar la distancia ponderada total de los almacenes a los distritos.

c) Restricciones

Existen un par de restricciones que se deben tener en cuenta:

- Satisfacer toda la demanda de los distritos. Definida como la población en nivel de riesgo muy alto, alto y medio ante un desastre natural de tipo huaico o inundación.
- Limitar el número de localizaciones de almacenes a P . De no limitarlo el modelo podría terminar seleccionando todas las localizaciones disponibles, que en este caso, vienen a ser las 72 localizaciones.

d) Variables de decisión

- Para decidir si se instala un almacén en la localización i , se utiliza la variable binaria X_i donde toma el valor de 1 si se instala un almacén y 0 en caso contrario.
- Para decidir si el almacén ubicado en la localización i atenderá al distrito ubicado en la instalación j utilizamos la variable binaria $Y_{i,j}$, donde toma el valor de 1 si el almacén atiende al distrito o 0 en caso contrario.

e) Estructura del modelo

$$\text{Minimizar } \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \text{dist}_{i,j} * d_j * Y_{i,j} \dots (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i \in I} Y_{i,j} = 1; \forall j \in J \dots (2)$$

$$\sum_{i \in I} X_i = P \dots (3)$$

$$Y_{i,j} \leq X_i; \forall i \in I, \forall j \in J \dots (4)$$

$$Y_{i,j} \in \{0,1\}; \forall i \in I, \forall j \in J \dots (5)$$

$$X_i \in \{0,1\}; \forall i \in I \dots (6)$$

La ecuación (1) define la función objetivo, minimizar la distancia ponderada total. La ecuación (2) garantiza que cada distrito sea atendido. La ecuación (3) garantiza que se instalen exactamente P almacenes. La ecuación (4) garantiza que si un almacén atiende a un distrito en la ecuación (2) entonces dicho almacén debe considerarse como abierto. Por último, las ecuaciones (5) y (6) permiten establecer las variables $Y_{i,j}$ y X_i como binarias. En la figura 29 se observa la programación del modelo en AMPL.

```

#Definición de matrices
set Distritos:=1..624;
set Almacenes:=1..72;
set Matriz:= {Distritos,Almacenes};

#Definición de parámetros
param Distancia {Matriz};
param Demanda {Distritos};
param Capacidad {Almacenes};
param MaxAlmacenes;

#Variables de Decisión
var X {i in Almacenes} binary;
var Y {j in Distritos, i in Almacenes} binary;

#Función Objetivo
minimize Ecuacion:
    sum {j in Distritos, i in Almacenes} Distancia[j,i]*Demanda[j]*Y[j,i];

#Restricciones
subject to DTotal {j in Distritos}:
    sum {i in Almacenes} Y[j,i] = 1;

subject to Cant_Almacenes:
    sum {i in Almacenes} X[i] <= MaxAlmacenes;

subject to Apertura {i in Almacenes, j in Distritos}:
    Y[j,i] <= X[i];

```

Figura 29. Código del archivo .mod que contiene la programación del modelo usando el programa AMPL.

Una vez construido el modelo de programación entera, se procedió a correr distintos escenarios variando la cantidad máxima de almacenes a utilizar (variable P en el modelo). Para el primer escenario, P tuvo un valor de 36 y de ahí fue aumentando de 3 en 3 hasta un valor de 72. Los resultados de cada escenario se anotaron en tablas.

6. Capítulo 6. Análisis de resultados

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos después de correr el modelo para distintos escenarios. Luego, se escoge la cantidad óptima de almacenes, utilizando como principal criterio la distancia total recorrida. Finalmente, utilizando tablas y gráficas se muestra los almacenes a instalar, los distritos que atenderá cada uno, las capacidades que tendrán y el distrito donde estarán ubicados.

6.1. Análisis de los escenarios

Las tablas 50, 51 y 52 muestran los resultados de los escenarios con 36, 54 y 72 almacenes. En cada tabla se indica el código del almacén a instalar (proveniente de la tabla 46) así como la cantidad de distritos que atiende y la capacidad requerida de cada almacén, basado en la demanda humanitaria total (cantidad de población vulnerable en los distritos que fueron asignados al almacén). Las tablas resultantes de correr los demás escenarios se muestran en el anexo 2.

Tabla 50. Propuesta de distribución de almacenes usando 36 almacenes.

Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad	Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad
1	15	116,431	44	11	107,042
3	26	61,249	45	11	136,081
4	53	204,806	47	11	226,113
8	15	107,179	49	15	391,863
12	30	1,044,458	50	13	88,706
13	12	90,032	51	8	150,744
15	7	84,053	53	3	74,649
16	8	55,630	54	20	108,011
19	15	54,614	55	22	388,584
24	20	28,282	57	14	101,552
28	37	50,499	58	14	99,639
29	25	70,397	59	9	43,444
31	27	369,257	60	8	39,771
33	13	104,590	62	15	127,484
35	24	67,915	63	8	51,512
39	19	83,024	66	12	244,443
40	31	612,632	69	13	71,961
41	20	135,500	72	20	313,587

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 51. Propuesta de distribución de almacenes usando 54 almacenes.

Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad	Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad
1	12	109,717	40	28	597,582
3	15	36,691	41	16	103,016
4	13	122,794	42	4	32,484
7	23	32,849	44	10	97,485

8	11	66,852	45	8	89,659
9	8	30,545	46	8	57,014
10	14	53,217	47	11	226,113
12	28	1,043,024	49	15	391,863
13	7	73,057	50	12	72,725
15	7	84,053	51	8	150,744
16	7	52,367	53	3	74,649
17	5	20,013	54	12	93,392
18	6	28,961	55	12	347,518
19	6	22,541	56	5	42,701
21	12	18,126	57	10	72,220
22	6	20,735	58	8	53,109
24	15	23,379	59	9	43,444
27	5	50,705	60	8	39,771
28	22	23,172	61	14	49,548
29	15	47,766	62	11	99,149
30	24	39,081	63	8	51,512
31	25	355,915	64	6	31,994
33	10	96,597	66	8	234,287
34	6	29,737	67	8	49,841
35	19	44,278	69	7	46,911
37	9	31,109	70	16	20,713
39	18	72,646	72	11	306,363

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52. Propuesta de distribución de almacenes usando 72 almacenes.

Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad	Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad
1	7	93,636	37	4	26,336
2	9	13,282	38	12	33,278
3	15	36,691	39	14	59,403
4	12	121,181	40	26	593,626
5	14	20,857	41	13	96,910
6	2	11,233	42	4	32,484
7	13	19,520	43	2	6354
8	8	56,879	44	10	97,485
9	8	30,545	45	8	89,659
10	11	45,279	46	7	55,371
11	6	14,585	47	8	221,921
12	23	1,036,018	48	3	4,192
13	7	73,057	49	15	391,863
14	9	11,915	50	8	66,064
15	7	84,053	51	8	150,744
16	7	52,367	52	8	12,489
17	3	15,475	53	3	74,649
18	6	28,961	54	3	80,486
19	6	22,541	55	12	347,518
20	17	15,195	56	5	42,701
21	10	16,754	57	8	59,197
22	5	20,058	58	8	53,109
23	4	4,240	59	9	43,444
24	12	16,814	60	8	39,771
25	2	5,340	61	8	33,040

26	4	5,758	62	11	99,149
27	5	50,705	63	6	45,158
28	9	12,207	64	5	30,864
29	15	47,766	65	9	7,224
30	15	23,560	66	8	234,287
31	20	343,458	67	8	49,841
32	5	13,255	68	5	24,016
33	8	92,878	69	6	45,678
34	6	29,737	70	7	11,797
35	18	41,724	71	4	10,918
36	4	6,661	72	9	300,523

Fuente: Elaboración propia.

Al aumentar la cantidad de almacenes utilizados, el resultado de la función objetivo (minimizar la distancia ponderada total) también cambia, haciéndose cada vez más pequeño. Esto se puede observar en la tabla 53, que muestra la distancia ponderada total recorrida según la cantidad de almacenes.

Tabla 53. Distancia ponderada total según la cantidad de almacenes.

Cantidad de almacenes	Distancia ponderada total recorrida (persona*km) en miles
36	103,128
39	99,107
42	95,674
45	92,665
48	89,985
51	87,689
54	85,853
57	84,420
60	83,334
63	82,430
66	81,967
69	81,102
72	80,744

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 30 se ve esta información graficada en una curva, y se observa que la cantidad de almacenes (P) tiene un impacto directo en la distancia ponderada total recorrida. Instalar una gran cantidad de almacenes supone una menor distancia recorrida desde el almacén hasta los pobladores para la entrega de bienes de ayuda humanitaria, sin embargo también implica un costo alto de inversión. Por otro lado, una baja cantidad de almacenes, si bien es más económica, perjudica el nivel de atención al tener que recorrer mayores distancias.

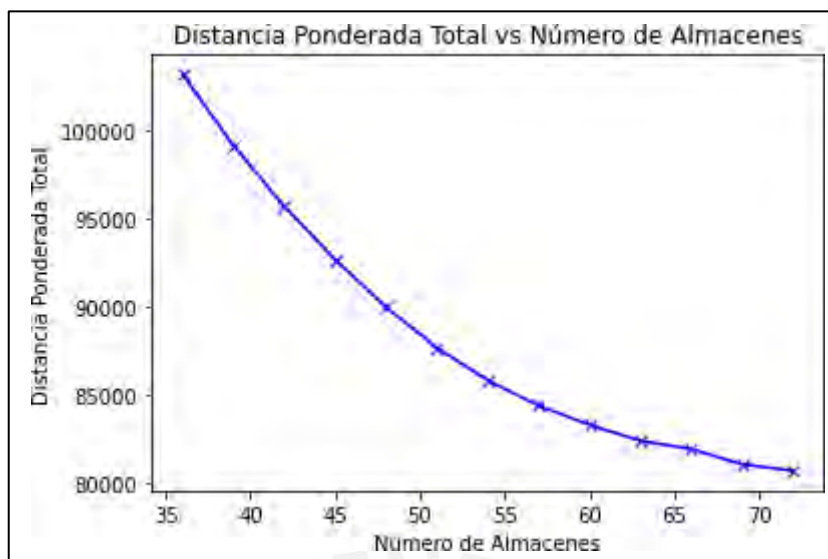


Figura 30. Curva distancia ponderada total vs. Número de almacenes.

6.2. Elección de la cantidad óptima de almacenes

En base a la tabla 53, se calcula el ahorro de distancia ponderada total entre almacenes, al pasar de 36 a 39, de 39 a 42, y así sucesivamente; los resultados se muestran en la tabla 54, y se observa que el ahorro de distancia se va haciendo cada vez menor.

Tabla 54 Ahorro de distancia total recorrida en cada intervalo.

Pasar de	Ahorro de distancia ponderada total
36 a 39 almacenes	4,021
39 a 42 almacenes	3,433
42 a 45 almacenes	3,009
45 a 48 almacenes	2,680
48 a 51 almacenes	2,296
51 a 54 almacenes	1,836
54 a 57 almacenes	1,433
57 a 60 almacenes	1,086
60 a 63 almacenes	904
63 a 66 almacenes	463
66 a 69 almacenes	865
69 a 72 almacenes	358

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el último ahorro considerable se da al pasar de 57 a 60 almacenes. Pues luego de este punto, el ahorro es menor a la cuarta parte del ahorro inicial. Por lo antes mencionado, se considera como propuesta óptima 60 almacenes. Alcanzando un equilibrio entre el costo de la cantidad de almacenes a instalar y la rapidez en la atención en base a la distancia recorrida.

En la tabla 55, se muestra el detalle de la propuesta seleccionada, indicando el código de los almacenes que se instalarán (proveniente de la tabla 46), los distritos que atenderán, y la capacidad requerida en base a la demanda total humanitaria de los distritos.

Tabla 55. Propuesta de 60 almacenes.

Código del Almacén	Distritos	Capacidad
1	APU-1-1, APU-1-3, APU-1-5, APU-1-6, APU-1-8, APU-1-9, APU-2-8	93,636
3	APU-1-4, APU-3-5, APU-3-7, APU-7-1, APU-7-10, APU-7-11, APU-7-12, APU-7-13, APU-7-14, APU-7-2, APU-7-5, APU-7-6, APU-7-7, APU-7-8, APU-7-9	36,691
4	APU-2-1, APU-2-12, APU-2-13, APU-2-14, APU-2-15, APU-2-16, APU-2-17, APU-2-18, APU-2-2, APU-2-20, APU-2-5, APU-2-9	122,794
6	APU-1-2, APU-1-7, APU-2-4, APU-2-7, APU-4-11, APU-4-4, APU-4-8	18,743
7	APU-2-10, APU-2-11, APU-3-1, APU-3-2, APU-3-6, APU-4-1, APU-4-10, APU-4-12, APU-4-13, APU-4-14, APU-4-15, APU-4-16, APU-4-17, APU-4-2, APU-4-3, APU-4-5, APU-4-6, APU-4-7, APU-4-9, AYA-9-11, AYA-9-8	30,187
8	APU-3-3, APU-5-1, APU-5-4, APU-5-5, APU-5-6, CUS-6-3, CUS-6-5, CUS-6-6	56,879
9	APU-3-4, APU-5-2, APU-5-3, APU-7-3, APU-7-4, CUS-2-4, CUS-2-6, CUS-2-7	30,545
10	APU-6-1, APU-6-10, APU-6-11, APU-6-2, APU-6-3, APU-6-4, APU-6-5, APU-6-6, APU-6-7, APU-6-8, APU-6-9, AYA-11-3, AYA-2-8, AYA-5-7	53,217
12	ARE-1-1, ARE-1-10, ARE-1-11, ARE-1-12, ARE-1-13, ARE-1-14, ARE-1-15, ARE-1-16, ARE-1-17, ARE-1-18, ARE-1-2, ARE-1-20, ARE-1-23, ARE-1-24, ARE-1-25, ARE-1-27, ARE-1-28, ARE-1-29, ARE-1-3, ARE-1-4, ARE-1-5, ARE-1-6, ARE-1-7, ARE-1-8, ARE-5-15	1,038,281
13	ARE-1-19, ARE-1-21, ARE-1-22, ARE-1-26, ARE-5-11, ARE-5-14, ARE-5-8	73,057
15	ARE-1-9, ARE-7-1, ARE-7-2, ARE-7-3, ARE-7-4, ARE-7-5, ARE-7-6	84,053
16	ARE-2-1, ARE-2-2, ARE-2-4, ARE-2-5, ARE-2-6, ARE-2-7, ARE-2-8	52,367
17	ARE-2-3, ARE-3-2, ARE-6-6, ARE-6-8	19,403
18	ARE-3-1, ARE-3-10, ARE-3-11, ARE-3-13, ARE-3-4, ICA-3-3	28,961
19	ARE-3-12, ARE-3-3, ARE-3-6, ARE-3-7, ARE-3-8, ARE-3-9	22,541
20	ARE-3-5, ARE-8-8, ARE-8-9, AYA-7-4, AYA-7-6, AYA-7-7, AYA-7-8, AYA-8-1, AYA-8-10, AYA-8-2, AYA-8-3, AYA-8-4, AYA-8-5, AYA-8-6, AYA-8-7, AYA-8-8, AYA-8-9	15,195
21	ARE-4-1, ARE-4-10, ARE-4-11, ARE-4-12, ARE-4-14, ARE-4-3, ARE-4-4, ARE-4-5, ARE-4-6, ARE-4-8, ARE-4-9, ARE-5-7	18,126
22	ARE-4-13, ARE-4-2, ARE-4-7, ARE-6-1, ARE-6-4, ARE-6-5	20,735
24	ARE-5-1, ARE-5-10, ARE-5-12, ARE-5-13, ARE-5-16, ARE-5-17, ARE-5-18, ARE-5-19, ARE-5-2, ARE-5-20, ARE-5-3, ARE-5-4, ARE-5-5, ARE-5-6, ARE-5-9	23,379
27	ARE-6-2, CUS-6-2, CUS-6-4, CUS-6-7, CUS-6-8	50,705

28	ARE-6-3, ARE-6-7, ARE-8-1, ARE-8-10, ARE-8-11, ARE-8-2, ARE-8-3, ARE-8-4, ARE-8-5, ARE-8-6, ARE-8-7	13,360
29	AYA-1-1, AYA-1-2, AYA-1-3, AYA-1-4, AYA-1-5, AYA-1-6, AYA-10-1, AYA-10-10, AYA-10-11, AYA-10-12, AYA-10-8, AYA-3-1, AYA-3-2, AYA-3-3, AYA-3-4	47,766
30	APU-2-3, APU-2-6, AYA-10-2, AYA-10-3, AYA-10-4, AYA-10-5, AYA-10-6, AYA-10-7, AYA-10-9, AYA-11-1, AYA-11-2, AYA-11-3, AYA-11-4, AYA-11-5, AYA-11-6, AYA-11-7, AYA-11-8, AYA-2-6, AYA-6-20, AYA-9-1, AYA-9-2, AYA-9-5, AYA-9-6, AYA-9-9	39,081
31	AYA-2-1, AYA-2-10, AYA-2-11, AYA-2-12, AYA-2-13, AYA-2-14, AYA-2-15, AYA-2-16, AYA-2-2, AYA-2-3, AYA-2-4, AYA-2-5, AYA-2-7, AYA-2-9, AYA-4-4, AYA-4-5, AYA-4-6, AYA-4-8, AYA-5-11, AYA-5-4, AYA-5-6, AYA-5-9	346,379
32	AYA-4-1, AYA-4-10, AYA-4-12, AYA-4-3, AYA-4-9	13,255
33	AYA-4-11, AYA-4-2, AYA-7, AYA-5-10, AYA-5-3, AYA-5-8, CUS-9-4, CUS-9-8	92,878
34	AYA-5-1, AYA-5-2, AYA-5-5, CUS-9-12, CUS-9-13, CUS-9-14	29,737
35	AYA-6-1, AYA-6-10, AYA-6-13, AYA-6-14, AYA-6-15, AYA-6-16, AYA-6-17, AYA-6-2, AYA-6-21, AYA-6-2, AYA-6-5, AYA-6-6, AYA-6-8, AYA-6-9, AYA-7-1, AYA-7-3, AYA-9-3, AYA-9-4, AYA-9-7	44,278
37	AYA-6-19, AYA-6-4, AYA-7-2, AYA-7-5	26,336
38	CUS-1-1, CUS-1-3, CUS-1-6, CUS-10-1, CUS-10-2, CUS-10-3, CUS-10-5, CUS-10-6, CUS-10-7, CUS-10-8, CUS-10-9, CUS-6-1	33,278
39	CUS-1-2, CUS-1-4, CUS-1-5, CUS-1-7, CUS-12-5, CUS-4-5, CUS-4-7, CUS-4-8, CUS-5-1, CUS-5-2, CUS-5-4, CUS-5-5, CUS-5-6, CUS-5-8	59,403
40	CUS-10-4, CUS-13-1, CUS-13-2, CUS-13-4, CUS-13-5, CUS-13-6, CUS-13-7, CUS-2-1, CUS-2-2, CUS-2-3, CUS-2-5, CUS-2-8, CUS-2-9, CUS-3-1, CUS-3-2, CUS-3-3, CUS-3-4, CUS-3-5, CUS-3-7, CUS-7-1, CUS-7-2, CUS-7-3, CUS-7-4, CUS-7-5, CUS-7-6, CUS-7-8	593,626
41	CUS-11-1, CUS-11-4, CUS-12-1, CUS-12-10, CUS-12-11, CUS-12-12, CUS-12-3, CUS-12-4, CUS-12-6, CUS-12-17, CUS-12-9, CUS-3-6, CUS-7-7	96,910
42	CUS-11-2, CUS-11-3, CUS-11-5, CUS-11-6	32,484
44	CUS-13-3, CUS-3-8, CUS-9-1, CUS-9-10, CUS-9-11, CUS-9-2, CUS-9-3, CUS-9-5, CUS-9-7, CUS-9-9	97,485
45	CUS-4-1, CUS-4-2, CUS-4-3, CUS-4-4, CUS-4-6, CUS-5-3, CUS-5-7, CUS-8-7	89,659
46	CUS-8-1, CUS-8-2, CUS-8-3, CUS-8-4, CUS-8-5, CUS-8-6, CUS-8-8, PUN-6-5	57,014
47	ICA-1-1, ICA-1-10, ICA-1-11, ICA-1-2, ICA-1-3, ICA-1-4, ICA-1-5, ICA-1-6, ICA-1-7, ICA-1-8, ICA-1-9	226,113
49	ICA-2-1, ICA-2-10, ICA-2-11, ICA-2-12, ICA-2-13, ICA-2-14, ICA-2-2, ICA-2-3, ICA-2-4, ICA-2-5, ICA-2-6, ICA-2-7, ICA-2-8, ICA-2-9, ICA-4-5	391,863
50	AYA-6-11, AYA-6-12, AYA-6-18, AYA-6-7, ICA-3-1, ICA-3-2, ICA-3-4, ICA-3-5, ICA-4-1, ICA-4-2, ICA-4-3, ICA-4-4	72,725
51	ICA-5-1, ICA-5-2, ICA-5-3, ICA-5-4, ICA-5-5, ICA-5-6, ICA-5-7, ICA-5-8	150,744
52	MOQ-1-1, MOQ-1-10, MOQ-1-11, MOQ-1-2, MOQ-1-4, MOQ-1-5, MOQ-1-6, MOQ-1-7, MOQ-1-8, MOQ-1-9, MOQ-3-1, MOQ-3-2, MOQ-3-5	16,827
53	MOQ-2-1, MOQ-2-2, MOQ-2-3	74,649
54	MOQ-3-3, MOQ-3-4, MOQ-3-6, TAC-2-3	82,742

55	PUN-1-1, PUN-1-10, PUN-1-5, PUN-11-3, PUN-11-4, PUN-11-5, PUN-5-5, PUN-5-7, PUN-6-2, PUN-9-4, PUN-9-6, PUN-9-7	347,518
56	PUN-1-11, PUN-1-12, PUN-1-3, PUN-7-6, PUN-7-7	42,701
57	PUN-1-3, PUN-1-14, PUN-1-15, PUN-1-2, PUN-1-4, PUN-1-7, PUN-6-4, PUN-6-8	59,197
58	PUN-1-6, PUN-1-8, PUN-10-1, PUN-10-2, PUN-10-3, PUN-10-4, PUN-5-3, PUN-5-4	53,109
59	PUN-1-9, PUN-12-3, PUN-12-4, PUN-12-5, PUN-2-1, PUN-2-10, PUN-2-3, PUN-2-5, PUN-7-1	43,444
60	PUN-10-5, PUN-12-1, PUN-12-10, PUN-12-2, PUN-12-6, PUN-12-7, PUN-12-8, PUN-12-9	39,771
61	MOQ-1-3, PUN-11-1, PUN-11-2, PUN-6-1, PUN-9-13, PUN-9-14, PUN-9-15, PUN-9-3, PUN-9-8, PUN-9-9	38,354
62	PUN-13-1, PUN-13-2, PUN-13-3, PUN-13-4, PUN-13-5, PUN-13-6, PUN-13-7, PUN-3-1, PUN-3-3, PUN-3-6, PUN-3-7	99,149
63	CUS-12-2, CUS-12-8, PUN-2-2, PUN-2-4, PUN-2-6, PUN-2-7, PUN-2-8, PUN-2-9	51,512
64	PUN-3-2, PUN-3-4, PUN-3-5, PUN-4-1, PUN-4-2, PUN-4-5	31,994
66	PUN-4-3, PUN-4-4, PUN-9-1, PUN-9-10, PUN-9-11, PUN-9-12, PUN-9-2, PUN-9-5	234,287
67	PUN-5-1, PUN-5-2, PUN-5-6, PUN-5-8, PUN-8-1, PUN-8-2, PUN-8-3, PUN-8-4	49,841
68	PUN-6-10, PUN-6-3, PUN-6-6, PUN-6-7, PUN-6-9	24,016
69	PUN-7-2, PUN-7-3, PUN-7-4, PUN-7-5, PUN-7-8, PUN-7-9	45,678
70	TAC-1-1, TAC-1-2, TAC-1-3, TAC-1-4, TAC-1-5, TAC-1-6, TAC-2-1, TAC-2-2, TAC-4-1, TAC-4-2, TAC-4-3, TAC-4-4, TAC-4-5, TAC-4-6, TAC-4-7, TAC-4-8	20,713
72	TAC-3-1, TAC-3-10, TAC-3-11, TAC-3-2, TAC-3-3, TAC-3-4, TAC-3-5, TAC-3-6, TAC-3-7, TAC-3-8, TAC-3-9	306,363

Fuente: Elaboración propia.

La figura 31 muestra los distritos que serán atendidos por un mismo almacén agrupados por color, y la ubicación geográfica teórica de dicho almacén, representado por una 'x'.

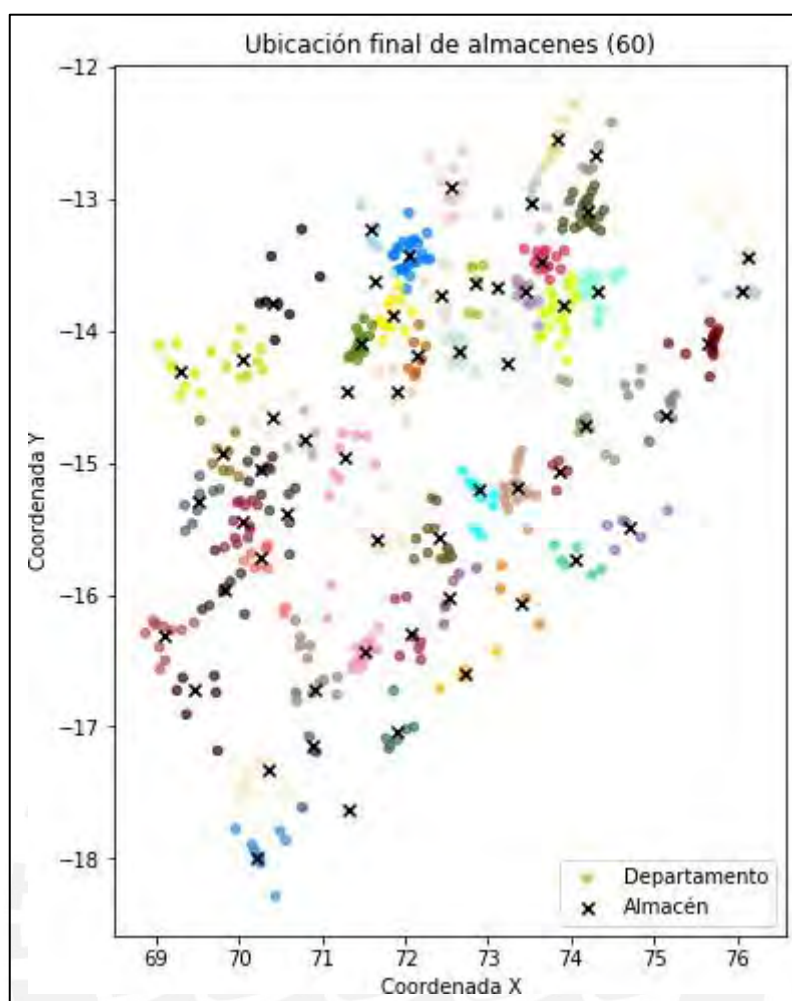


Figura 31. Distribución de los 60 almacenes y los distritos que atienden.

Finalmente, es necesario conocer el distrito exacto donde se instalará cada uno de los almacenes. Para ello, con ayuda de la página coordenadas-gps.com se ingresó en un mapa geográfico del Perú las coordenadas teóricas de cada almacén, obtenidas en la tabla 46 y se identificó el distrito a donde pertenecen, o en su defecto, el distrito más cercano. La tabla 56 muestra el código del almacén, el departamento, la provincia y el distrito a donde pertenece.

Tabla 56. Detalle de los almacenes a instalar.

Código del Almacén	Departamento	Provincia	Distrito	Código Distrito
1	Apurímac	Abancay	Abancay	APU-1-1
3	Apurímac	Grao	Micaela Bastidas	APU-7-6
4	Apurímac	Andahuaylas	Talavera	APU-2-16
6	Apurímac	Andahuaylas	Kishuara	APU-2-7
7	Apurímac	Aymaraes	Chalhuanca	APU-4-1
8	Apurímac	Cotabambas	Haquira	APU-5-4
9	Apurímac	Cotabambas	Cotabambas	APU-5-2
10	Apurímac	Chincheros	Ranracancha	APU-6-8

12	Arequipa	Arequipa	Jose Luis Bustamante y Rivero	ARE-1-8
13	Arequipa	Arequipa	Santa Isabel de Siguan	ARE-1-21
15	Arequipa	Islay	Mejia	ARE-7-4
16	Arequipa	Camana	Jose María Quimper	ARE-2-2
17	Arequipa	Caraveli	Atico	ARE-3-2
18	Arequipa	Caraveli	Bella Unión	ARE-3-4
19	Arequipa	Caraveli	Chaparra	ARE-3-8
20	Ayacucho	Paucar del Sara Sara	Lampa	AYA-8-3
21	Arequipa	Castilla	Machaguay	ARE-4-8
22	Arequipa	Castilla	Aplao	ARE-4-2
24	Arequipa	Caylloma	Coporaque	ARE-5-6
27	Cusco	Chumbivilcas	Velille	CUS-6-8
28	Arequipa	La Unión	Cotahuasi	ARE-8-3
29	Ayacucho	Victor Fajardo	Sarhua	AYA-10-11
30	Ayacucho	Vilcas Huaman	Accomarca	AYA-11-1
31	Ayacucho	Huamanga	Quinua	AYA-2-10
32	Ayacucho	Huanta	Santillana	AYA-4-10
33	Cusco	La Convención	Pichari	CUS-9-8
34	Ayacucho	La Mar	Anco	AYA-5-2
35	Ayacucho	Lucanas	Puquio	AYA-6-13
37	Ayacucho	Lucanas	Chaviña	AYA-6-4
38	Cusco	Paruro	Colcha	CUS-10-3
39	Cusco	Acomayo	Mosoc Llacta	CUS-1-4
40	Cusco	Urubamba	Chincho	CUS-13-1
41	Cusco	Quispicanchi	Andahuaylillas	CUS-12-1
42	Cusco	Paucartambo	Challabamba	CUS-11-2
44	Cusco	La Convención	Echarate	CUS-9-1
45	Cusco	Canas	Kunturkanki	CUS-4-2
46	Cusco	Espinar	Ocoruro	CUS-8-5
47	Ica	Chincha	Chincha Alta	ICA-1-3
49	Ica	Ica	Los Aquijes	ICA-2-3
50	Ica	Palpa	Llipata	ICA-4-1
51	Ica	Pisco	Independencia	ICA-5-3
52	Moquegua	General Sanchez Cerro	Quinistaquillas	MOQ-1-9
53	Moquegua	Ilo	Ilo	MOQ-2-2
54	Moquegua	Mariscal Nieto	Samegua	MOQ-3-4
55	Puno	Huancane	Pusi	PUN-5-5
56	Puno	Melgar	Orurillo	PUN-7-7
57	Puno	Azangaro	Santiago de Pupuja	PUN-1-14
58	Puno	San Antonio de Putina	Putina	PUN-10-3
59	Puno	Carabaya	Crucero	PUN-2-5
60	Puno	Sandia	Quiaca	PUN-12-6
61	Puno	Puno	Vilque	PUN-9-15
62	Puno	Yunguyo	Yunguyo	PUN-13-7
63	Puno	Carabaya	Ayapata	PUN-2-2
64	Puno	Chucuito	Huacullani	PUN-3-2
66	Puno	Puno	Plateria	PUN-9-11
67	Puno	Moho	Moho	PUN-8-3
68	Puno	Lampa	Palca	PUN-6-6

69	Puno	Melgar	Umachiri	PUN-7-9
70	Tacna	Candarave	Huanuara	TAC-1-5
72	Tacna	Tacna	Pocollay	TAC-3-9

Fuente: Elaboración propia



7. Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo, se presentan las principales conclusiones y recomendaciones para tener en cuenta en la propuesta de distribución de almacenes.

7.1. Conclusiones

- La propuesta seleccionada consta de 60 almacenes (12 más que los almacenes adelantados actuales), pudiendo atender rápidamente a la población afectada al tener que recorrer menores distancias. En la mayoría de las veces los almacenes atienden distritos de un mismo departamento; sin embargo, existen algunos casos en los que atienden distritos de más de un departamento, haciendo necesaria la ayuda comunitaria y el apoyo entre departamentos con el fin de entregar una atención más rápida a las personas afectadas.
- Para el análisis de clustering, se determinó la cantidad máxima de grupos o clusters utilizando el método de la silueta, frente al método del codo. Esto debido a que el método de la silueta es más robusto, pues además de la distancia de los puntos dentro de un clúster (distancia intraclúster), también considera la distancia de estos con puntos de un clúster vecino (distancia interclúster). De esta forma hace que la decisión sea más significativa y clara, aunque sea más compleja de calcular.
- La propuesta de distribución de almacenes se realiza tomando en cuenta la población vulnerable frente a desastres naturales originados por el fenómeno de lluvias intensas (huaicos e inundaciones), así como informes de SENAMHI con criterios en base a dicho fenómeno. Por lo que no debe utilizarse directamente como solución a otro tipo de desastres naturales. Sin embargo, la metodología utilizada sí puede ser replicada en otros departamentos o para otros desastres, mientras se cuente con la información necesaria.
- El modelo propuesto considera una atención a los damnificados y afectados de la región en su totalidad. Obteniendo almacenes con capacidad de atención que varía entre 13,255 y 1,038,281 personas. No obstante, en algunas ocasiones y dependiendo de la magnitud del desastre, es posible contar con ayuda humanitaria nacional e internacional, por lo que se puede considerar un porcentaje menor de población necesitada (siendo complementada por ayuda nacional e internacional).
- Para determinar la cantidad de población vulnerable se utilizó informes de escenarios de lluvias pronosticados para el periodo de verano 2021 (realizados por CENEPRED). Esto debido a que los periodos de lluvia intensas suelen ocurrir durante la época de verano (de enero a marzo), por lo que se tiene uno de los escenarios más fuertes en todo el año. Para realizar estos informes, CENEPRED,

utiliza principalmente las características geográficas del terreno y aspectos sociales como las viviendas, los establecimientos de salud y colegios.

7.2. Recomendaciones

- Para el modelo de clustering se utilizó como variables de entrada las coordenadas de los distritos en X y en Y, sin embargo, es posible utilizar más variables (relacionadas al terreno) que permitan una mejor agrupación de los distritos. Asimismo, para el cálculo de las distancias entre los distritos y los almacenes se puede emplear distancias más realistas que tomen en cuenta el relieve del terreno, en lugar de la euclidiana.
- Para garantizar el éxito de la propuesta, es importante contar con un registro de datos completo, actualizado y ordenado. Asimismo, se debe conversar y coordinar con los actores involucrados en la cadena logística en caso de desastres, para que cuando llegue el momento, estos sepan dónde y cómo distribuir los bienes de ayuda humanitaria desde el almacén a los pobladores que lo necesiten.
- Para desarrollar y correr el modelo se utilizó el programa AMPL en su versión completa, debido a la cantidad de variables utilizadas. Sin embargo, una alternativa a este software es utilizar python con la librería *IBM Decision Optimization CPLEX*, una librería creada por IBM para agregar de manera rápida y sencilla modelos de optimización a aplicaciones de python, por medio de un servicio en la nube como IBM Cloud.
- En el modelo propuesto, se pueden incluir restricciones según se requiera, como capacidad mínima para abrir un almacén, capacidad máxima debido a una limitante presupuestal, cercanía a colegios u hospitales, entre otros. Asimismo, en investigaciones futuras, se pueden incorporar otro tipo de restricciones relacionadas con el terreno; por ejemplo, garantizar que el almacén no se encuentre en una zona hundida, pues podría ser afectado por inundaciones.

Referencia Bibliográfica

- Adams, P., & Wood, G. (2021). *The impact of natural disasters on systemic political and social inequities in the U.S.* London: Lexington Books.
- Alexander, D. (2017). *Natural Disasters*. New York: Routledge.
- Alzate, P. M. (2018). *Investigación de Operaciones. Conceptos Fundamentales*. (Primera ed.). Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Anselin, L. (2020). *Cluster Analysis (1)*. Obtenido de GeoDa. An Introduction to Spatial Data Science.: https://geodacenter.github.io/workbook/7bk_clusters_1a/lab7b.html#fn2
- Apte, A. (2010). *Humanitarian Logistics: A New Field of Research and Action* (Vol. III). Foundations and Trends in Technology, Information and Operations Management.
- Apurimac. (2018). *Plan de Contingencia Regional ante lluvias intensas 2017-2018*. Apurimac.
- Ben, C.-E., Hamza, A., & Bouaguel, W. (2021). Parallel and scalable Dunn Index for the validation of big data clusters. *Parallel Computing*.
- Brenes, P. (2015). *Técnicas de almacén*. Editex.
- Calatayud, A., & Katz, R. (2019). *Cadena de suministro 4.0: Mejores Prácticas Internacionales y Hoja de Ruta para América Latina*. Editorial BID.
- Carreño, A. (2017). *Cadena de suministro y logística*. Lima, Perú: Fondo Editorial PUCP.
- CENEPRED. (2013). *Escenarios de riesgo para la temporada de lluvias 2013-2014*.
- CENEPRED. (2020). *CENEPRED*. Obtenido de Escenario de Riesgo: <https://www.cenepred.gob.pe/web/escenario-riesgos/#:~:text=El%20Escenario%20de%20Riesgo%2C%20es,geoespacial%20y%20administrativos%20del%20riesgo%2C>
- CENEPRED. (2020). *Escenario de riesgo por superávit de lluvias en la costa y sierra sur del Perú para el verano 2021*. Lima.
- CENEPRED. (2020). *Escenarios de riesgos para la temporada de lluvias 2020-2021, según el pronóstico de lluvias enero - marzo 2021*. Lima: CENEPRED.
- CENEPRED. (2021). *Escenarios de riesgos por lluvias intensas 2021*. Obtenido de SIGRID CENEPRED: <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/11283>
- Chen, Y., Zhao, Q., Wang, L., & Dessouky, M. (2016). The regional cooperation-based warehouse location problem for relief supplies.
- COER-Arequipa. (2020). *Plan de contingencia regional ante lluvias intensas 2020-2021*.
- Council of Supply Chain Management Professionals. (Agosto de 2013). *CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary*. Obtenido de Council of Supply Chain Management Professionals: https://cscmp.org/CSCMP/Academia/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921

- Cozzolino, A. (2012). *Humanitarian Logistics. Cross-Sector Cooperation in Disaster Relief Management*. New York: Springer.
- Dirección Ejecutiva de Epidemiología. (2015). *Análisis de Situación de Salud Región Tacna*.
- DIRESA Apurímac. (2017). *Análisis de Situación de Salud Apurímac 2017*.
- DIRESA Cusco. (2018). *Población Proyectada 2018*. Obtenido de Diresa Cusco: http://www.diresacusco.gob.pe/estaditica/modulo1/pob_2018/poblacion_2018.htm
- DIRESA Tacna. (2018). *Plan de contingencia frente a los efectos de las lluvias y fenómeno el niño dirección de la red de salud Tacna. 2018-2019*.
- ENFEN. (Agosto de 2021). Obtenido de Estudio Nacional Del Fenómeno "El Niño": <http://enfen.gob.pe>
- Fedossova, A., Buitrago, O., & Britto, R. (2011). *Introducción a la Programación Lineal. Con Aplicaciones en Administración de Operaciones*. (Primera ed.). Bogotá: Colegio de Estudios Superiores de Administración.
- Flamarique, S. (2017). *Gestión de operaciones de almacenaje*. Marge Books.
- Font, B. (2011). *Programación matemática para la economía y la empresa* (Segunda ed.). Valencia: Universitat de València.
- GERESA Moquegua. (2018). *Análisis de Situación de Salud Región Moquegua 2018*.
- Glen, S. (2021). *Sum of Squares: Residual Sum, Total Sum, Explained Sum, Within*. Obtenido de Statistics How To: <https://www.statisticshowto.com/residual-sum-squares/#TotalSS>
- Gobierno Ica. (2020). *Plan regional de contingencia ante inundaciones y huaycos por lluvias intensas en la región ica 2019-2021*.
- Gobierno Regional Arequipa. (2021). *Análisis de la Situación de Salud - Arequipa 2021*.
- Gobierno Regional Cusco. (2021). *Análisis de la Situación de Salud - Cusco 2021*.
- Gobierno regional de Cusco. (2020). *Plan de contingencia regional ante lluvias intensas - Cusco 2020-2021*.
- González, Á., & García, G. (2015). *Manual Práctica de Investigación de operaciones* (Cuarta ed.). Barranquilla, Colombia: Universidad del Norte.
- GRS Arequipa. (2017). *Gerencia Regional de Salud Arequipa*. Obtenido de Salud Arequipa: <https://www.saludarequipa.gob.pe/estadisticas-2-2/oei-infraestructura-sanitaria/>
- Hartigan, J. (2001). Statistical Clustering. En N. Smelser, & P. Balter, *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (págs. 15014-15019).
- Hexmoor, H. (2015). Diffusion and Contagion. En H. Hexmoor, *Computational Network Science* (págs. 45-64).
- Iglesias, A. (2020). *La cadena de suministro. Su gestión y la acción de marketing*. Madrid: Editorial ESIC.
- INDECI. (2006). *Programa de Capacitación para la Estimación del Riesgo - PCER*.

- INDECI. (2017). *Instalación y Gestión de Albergues Temporales*. Lima.
- INDECI. (2018). *Recomendaciones Peligros Lluvias Intensas*.
- INDECI. (2019). *Plan regional de contingencia frente a la temporada de lluvias 2019-2020*.
- INDECI. (2020). *Compendio Estadístico del INDECI 2020. III. Información estadística de emergencias y daños, periodo 2003 al 2019*.
- INDECI. (2021). *Plan logístico*. Lima.
- INDECI. (2021). *Reporte peligro inminente por precipitaciones pluviales en el departamento de moquegua*.
- INEI. (2017). *Censos Nacionales de Población y Vivienda 2017*.
- INEI. (2018). *Resultados Definitivos*.
- Izar, J. (2019). *Modelos Matemáticos para la toma de decisiones*. Ciudad de México: Instituto Mexicano de Contadores Públicos.
- Jain, A., & Dubes, R. (1988). *Algorithms for Clustering Data*. New Jersey: Prentice Hall.
- Jin, X., & Han, J. (2010). K-Means Clustering. En C. Sammut, & G. Webb, *Encyclopedia of Machine Learning* (págs. 563-564). Haifa.
- Kovács, G., & Spens, K. M. (2007). Humanitarian logistics in disaster relief operations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. Emerald Insight*, 99-114.
- Kumar, S. (18 de Octubre de 2020). *Silhouette Method — Better than Elbow Method to find Optimal Clusters*. Obtenido de Towards Data Science: <https://towardsdatascience.com/silhouette-method-better-than-elbow-method-to-find-optimal-clusters-378d62ff6891>
- Maharjan, R., & Hanaoka, S. (2016). Warehouse location determination for humanitarian relief distribution in Nepal. *Science Direct*.
- Maria, E., Budiman, E., Haviluddin, & Taruk, M. (2020). Measure distance locating nearest public facilities using Haversine and Euclidean Methods. *Journal of Physics Conference Series*.
- Martínez, I., Vértiz, G., López, J., Jiménez, G., & Moncayo, L. (2014). *Investigación de Operaciones*. Ciudad de México: Grupo Editorial Patria.
- Marutho, D., Handaka, S., Wijaya, E., & Muljono. (2018). The Determination of Cluster Number at k-mean using Elbow Method and Purity Evaluation on Headline News. *2018 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic)*, 533-538.
- Maturana, J., Bello, M., & Manley, M. (2004). *Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur*. Valparaíso.
- MINEDU. (2021). *Magnitudes*. Obtenido de Estadística de la Calidad Educativa: <http://escale.minedu.gob.pe/magnitudes>

- Ministerio del Ambiente. (2015). *Mapa de susceptibilidad física del Perú. Zonas propensas a inundaciones y deslizamientos en la costa y sierra frente a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos*. Lima.
- Ministerio del Perú. (2018). *Plan de contingencia nacional ante lluvias intensas*. Lima.
- MINSA Peru. (2015). *Análisis de Situación de Ica 2015*.
- Mora, L. (2016). *Gestión Logística Integral. Las mejores prácticas en la cadena de abastecimiento*. (Segunda ed.). Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Municipalidad Provincial de Puno. (2020). *Plan de contingencia provincial ante lluvias intensas 2020-2021*.
- Oficina de Gestión de la Información y Estadística. (2019). *Carpeta Georeferencial*. Lima.
- Oficina de Gestión de la Información y Estadística. (2019). *Carpeta Georeferencial Región Apurímac Perú*. Lima.
- Open Data Science. (17 de Diciembre de 2018). *Unsupervised Learning: Evaluating Clusters*. Obtenido de Open Data Science: <https://odsc.medium.com/unsupervised-learning-evaluating-clusters-bd47eed175ce>
- OPS. (2001). *Logística y gestión de suministros en el sector salud*. Washington D.C.: Organización Panamericana de la Salud.
- Organización Meteorológica Mundial. (2014). *El Niño/ Oscilación del Sur*. Suiza: Organización Meteorológica Mundial. Obtenido de Organización Mundial Meteorológica: <https://public.wmo.int/es/el-ni%C3%B1ola-ni%C3%B1a-hoy>
- Organización Mundial Meteorológica. (2019). *Atlas Internacional de Nubes*. Obtenido de <https://cloudatlas.wmo.int/es/rain.html>
- Palacio-Niño, J., & Berzal, F. (2019). Evaluation Metrics for Unsupervised Learning. *Universidad de Granada - Dept. Computer Science and Artificial Intelligence*.
- Sari, H., Suranti, D., & Zulita, L. (2017). Implementation of K-means clustering method for electronic learning model. *Journal of Physics: Conference Series*.
- SENAMHI. (2020). *Informe Técnico: Análisis del Periodo Lluvioso 2019/2020 a nivel nacional*.
- SENAMHI. (2021). *Escenario Probabilístico de Lluvias para el verano 2022*.
- SINAGERD. (2014). *Plan nacional de gestión del riesgo de desastres 2014 - 2021*. Lima.
- SINEACE. (2020). *Caracterización de la región Ayacucho*.
- Soler, D. (2009). *Diccionario de Logística* (Segunda ed.). Barcelona: Marge Books.
- Stanton, D. (2021). *Supply Chain Management For Dummies* (Segunda ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- SUSALUD. (2021). *Listado de Establecimientos Registrados en el RENIPRESS*. Obtenido de SUSALUD: <http://app20.susalud.gob.pe:8080/registro-renipress-webapp/listadoEstablecimientosRegistrados.htm?action=mostrarBuscar#no-back-button>
- Taha, H. (2012). *Investigación de Operaciones* (Novena ed.). México, México: Pearson .

- Tamba, S., Batubara, D., Purba, W., Sihombing, M., Siregar, V., & Banjarnahor, J. (2019). Book data grouping in libraries using the k-means clustering method. *Journal of Physics: Conference Series*.
- Tomasini, R. M., & Van-Wassenhove, L. N. (2009). From preparedness to partnerships: case study research on humanitarian logistics. *International Transactions in Operation Research*, 549-559.
- Van-Wassenhove, L. N. (2006). Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society*, 457-489.
- Vélez, G., & Paltán, V. (Diciembre de 2015). Fenómeno del Niño Historia y Perspectiva. *Rev. Fac. Cienc. Méd. Univ. Cuenca.*, 110-115. Obtenido de <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/medicina/article/view/961/852>
- Venkat, M., Vivekananda, M., & Satish, R. (2017). Divisive Hierarchical Clustering with K-means and Agglomerative Hierarchical Clustering. *International Journal of Computer Science Trends and Technology (IJCT)*, 6-11.
- Yadav, J. (16 de Agosto de 2019). *Selecting optimal number of clusters in KMeans Algorithm(Silhouette Score)*. Obtenido de Jyoti Yadav 99111: <https://jyotiyadav99111.medium.com/selecting-optimal-number-of-clusters-in-kmeans-algorithm-silhouette-score-c0d9ebb11308>
- Yilmaz, H., & Kabak, Ö. (2016). A Multiple Objective Mathematical Programa to Determine Locations of Disaster Response Distribution Centers. *ScienceDirect*.

Anexos

Anexo 1. Lista completa de distritos

Tabla 57. Base de datos de todos los distritos.



Departamento	Provincia	Distrito	Código	Coord. X	Coord. Y	Poblac. vulnerable
Apurímac	Abancay	Abancay	APU-1-1	72.8811	-13.6339	69,028
		Chacoche	APU-1-2	72.9911	-13.9481	1,339
		Circa	APU-1-3	72.8731	-13.8739	1,866
		Curahuasi	APU-1-4	72.67	-14.0619	16,223
		Huanipaca	APU-1-5	72.9383	-13.5011	2,886
		Lambrama	APU-1-6	72.7669	-13.8669	3,002
		Pichirhua	APU-1-7	73.0731	-13.8631	2,774
		San Pedro de Cachora	APU-1-8	72.81	-13.5131	2,541
		Tamburco	APU-1-9	72.8711	-13.6169	10,861
	Andahuaylas	Andahuaylas	APU-2-1	73.3833	-13.6575	42,268
		Pampachiri	APU-2-10	73.55	-14.1833	2,199
		Pomacocha	APU-2-11	73.5889	-14.0839	863
		San Antonio de Cachi	APU-2-12	73.6039	-13.775	2,910
		San Jerónimo	APU-2-13	73.365	-13.6511	20,738
		San Miguel de Chaccrampa	APU-2-14	73.6031	-13.9622	1,613
		Santa María de Chicmo	APU-2-15	73.4931	-13.6561	8,152
		Talavera	APU-2-16	73.4247	-13.6564	18,509
		Tumay Huaraca	APU-2-17	73.3906	-13.6506	1,864
		Turpo	APU-2-18	73.4719	-13.7869	3,642
		Kaquiabamba	APU-2-19	73.5	-13.8	1,816
		Andarapa	APU-2-2	73.4	-13.7	5,459
		José María Arguedas	APU-2-20	73.3506	-13.7339	4,081
		Chiara	APU-2-3	73.67	-13.8719	1,186
		Huancarama	APU-2-4	73.0856	-13.6544	5,210
		Huancaray	APU-2-5	73.5367	-13.7708	3,753
		Huayana	APU-2-6	73.6097	-14.0483	750
		Kishuara	APU-2-7	73.1186	-13.6911	6,023
		Pacobamba	APU-2-8	72.8	-13.5169	3,452
		Pacucha	APU-2-9	73.3439	-13.6081	7,989
	Antabamba	Antabamba	APU-3-1	73.5119	-14.4869	2,776
		El oro	APU-3-2	73.0661	-14.2081	552
		Huaquirca	APU-3-3	72.19	-14.2131	1,841
		Juan Espinoza Medrano	APU-3-4	72.5169	-13.8	1,710
Oropesa		APU-3-5	72.555	-14.2561	2,268	

		Pachaconas	APU-3-6	73.0261	-14.2231	1,054
		Sabaino	APU-3-7	72.85	-14.3169	1,108
	Aymaraes	Chalhuanca	APU-4-1	73.2311	-14.3011	4,928
		Pocohuanca	APU-4-10	73.0831	-14.2169	1,022
		San Juan de Chacña	APU-4-11	73.1817	-13.9239	769
		Sañayca	APU-4-12	73.3619	-14.2092	1,107
		Soraya	APU-4-13	73.3119	-14.1631	711
		Tapairihua	APU-4-14	73.1431	-14.14	1,848
		Tintay	APU-4-15	73.1906	-13.9678	2,272
		Toraya	APU-4-16	73.3075	-14.0542	1,278
		Yanaca	APU-4-17	73.1597	-14.2314	981
		Capaya	APU-4-2	73.3181	-14.1189	580
		Caraybamba	APU-4-3	73.1611	-14.3769	929
		Chapamarca	APU-4-4	73.2481	-13.9739	1,893
		Colcabamba	APU-4-5	73.2081	-14.0081	693
		Cotaruse	APU-4-6	73.2081	-14.4161	2,570
		Ihuayllo	APU-4-7	73.3181	-14.1189	462
		Justo Apu Sahuaraura	APU-4-8	73.0731	-13.8631	735
		Lucre	APU-4-9	73.2281	-13.9511	1,529
		Cotabambas	Tambobamba	APU-5-1	72.1669	-13.9511
	Cotabambas		APU-5-2	72.3531	-13.7511	3,769
	Coyllurqui		APU-5-3	72.4311	-13.8369	6,524
	Haquira		APU-5-4	72.1947	-14.2233	9,430
	Mara		APU-5-5	72.1081	-14.085	5,848
	Challhuahuacho		APU-5-6	72.25	-14.1169	14,525
	Chincheros	Chincheros	APU-6-1	73.7131	-13.5131	5,293
		El porvenir	APU-6-10	73.5933	-13.3967	1,728
		Los chankas	APU-6-11	73.8222	-13.4361	988
		Ancohuallo	APU-6-2	73.6769	-13.5331	10,388
		Cocharcas	APU-6-3	73.74	-13.6111	1,728
Huaccana		APU-6-4	73.6897	-13.3875	6,634	
Ocobamba		APU-6-5	73.5611	-13.4831	6,759	
Ongoy		APU-6-6	73.67	-13.4039	2,344	
Urbanmarca		APU-6-7	73.7233	-13.5086	2,650	
Ranracancha		APU-6-8	73.6053	-13.5336	4,046	
Rocchacc	APU-6-9	73.6011	-13.44	2,689		
Grau	Chuquibambilla	APU-7-1	72.7069	-14.1019	5,023	

		Santa Rosa	APU-7-10	72.6669	-14.15	560
		Turpay	APU-7-11	72.6239	-14.2189	628
		Vilcabamba	APU-7-12	72.6261	-14.0761	1,233
		Virundo	APU-7-13	72.6833	-14.25	675
		Curasco	APU-7-14	72.5669	-14.0169	1,229
		Curpahuasi	APU-7-2	72.67	-14.0619	1,936
		Mariscal Gamarra	APU-7-3	72.5039	-13.87	2,782
		Huayllati	APU-7-4	72.4839	-13.9278	1,368
		Mamara	APU-7-5	72.5861	-14.2289	858
		Micaela Bastidas	APU-7-6	72.6119	-14.105	935
		Pataypampa	APU-7-7	72.6739	-14.175	798
		Progreso	APU-7-8	72.4831	-14.0719	2,945
		San Antonio	APU-7-9	72.6211	-14.165	272
		Alto Selva Alegre	ARE-1-1	71.5206	-16.3789	85,870
		Mariano Melgar	ARE-1-10	71.4831	-16.4	59,918
		Miraflores	ARE-1-11	71.5222	-16.3942	60,589
		Mollebaya	ARE-1-12	71.45	-16.4831	4,756
		Paucarpata	ARE-1-13	71.4781	-16.42	131,346
		Pocsi	ARE-1-14	71.3881	-16.5161	445
		Polobaya	ARE-1-15	71.3689	-16.565	837
		Quequeña	ARE-1-16	71.4511	-16.5581	4,784
		Sabandia	ARE-1-17	71.5	-16.4669	4,368
		Sachaca	ARE-1-18	71.5661	-16.425	24,225
		San Juan de Sigvas	ARE-1-19	72.1661	-16.4069	611
Arequipa	Arequipa	Arequipa	ARE-1-2	71.5389	-16.4019	55,437
		San Juan de Tarucani	ARE-1-20	71.0669	-16.1831	1,377
		Santa Isabel de Sigvas	ARE-1-21	72.1011	-16.3211	682
		Santa Rita de Sigvas	ARE-1-22	72.1889	-16.4931	6,318
		Socabaya	ARE-1-23	71.5333	-16.4667	75,351
		Tiabaya	ARE-1-24	71.5628	-16.4256	16,191
		Uchumayo	ARE-1-25	71.6636	-16.4153	14,054
		Vitor	ARE-1-26	71.9333	-16.4653	3,610
		Yanahuara	ARE-1-27	71.5422	-16.3875	25,417
		Yarabamba	ARE-1-28	71.4769	-16.5469	13,114
		Yura	ARE-1-29	71.6811	-16.2511	33,346

		Cayma	ARE-1-3	71.5456	-16.3817	91,935
		Cerro Colorado	ARE-1-4	71.5603	-16.3767	197,954
		Characato	ARE-1-5	71.4928	-16.4933	12,949
		Chiguata	ARE-1-6	71.4	-16.4	2,939
		Jacobo Hunttes	ARE-1-7	71.5958	-16.3278	50,164
		Jose Luis Bustamante y Rivero	ARE-1-8	71.5239	-16.4267	81,829
		La Joya	ARE-1-9	71.8611	-16.7261	32,019
	Camana	Camana	ARE-2-1	72.7167	-16.6167	13,367
		Jose María Quimper	ARE-2-2	72.7261	-16.6031	4,641
		Mariano Nicolas Valcárcel	ARE-2-3	73.4511	-16.0247	6,997
		Mariscal Cáceres	ARE-2-4	72.735	-16.6189	6,195
		Nicolas de Piérola	ARE-2-5	72.715	-16.5711	7,103
		Ocoña	ARE-2-6	73.1119	-16.4317	4,171
		Quilca	ARE-2-7	72.4233	-16.7125	940
	Samuel Pastor	ARE-2-8	72.6817	-16.6294	15,950	
	Caraveli	Acari	ARE-3-1	74.6172	-15.4383	4,923
		Jaqui	ARE-3-10	74.4381	-15.4739	1,532
		Lomas	ARE-3-11	74.845	-15.5661	1,477
		Quicacha	ARE-3-12	73.7969	-15.6289	1,837
		Yauca	ARE-3-13	74.5258	-15.6614	1,877
		Atico	ARE-3-2	73.62	-16.2253	5,215
		Atiquipa	ARE-3-3	74.3628	-15.8083	473
		Bella Unión	ARE-3-4	74.6589	-15.4503	3,171
		Cahuacho	ARE-3-5	73.4789	-15.5033	610
		Caraveli	ARE-3-6	73.9339	-15.7764	4,259
		Chala	ARE-3-7	74.2497	-15.8478	9,240
		Chaparra	ARE-3-8	73.8817	-15.7419	3,685
	Huanuuanu	ARE-3-9	74.0711	-15.6442	3,047	
	Castilla	Andagua	ARE-4-1	72.3547	-15.4997	1,038
Pampacolca		ARE-4-10	72.5614	-15.7114	2,032	
Tipan		ARE-4-11	72.5053	-15.7275	432	
Uñon		ARE-4-12	72.4317	-15.7283	207	
Uraca		ARE-4-13	72.4667	-16.2233	6,266	
Viraco		ARE-4-14	72.5314	-15.6683	1,545	
Aplao	ARE-4-2	72.4883	-16.0714	8,435		

		Ayo	ARE-4-3	72.2739	-15.6831	242
		Chachas	ARE-4-4	72.2719	-15.5017	1,646
		Chilcaymarca	ARE-4-5	72.3783	-15.2856	947
		Choco	ARE-4-6	73.1331	-15.5761	702
		Huancarqui	ARE-4-7	72.4797	-16.0939	1,472
		Machaguay	ARE-4-8	72.5081	-15.6486	488
		Orcopampa	ARE-4-9	72.3214	-15.2683	8,177
		Achoma	ARE-5-1	71.7025	-15.6625	841
		Lari	ARE-5-10	71.7739	-15.6214	904
		Lluta	ARE-5-11	72.0169	-16.0156	718
		Maca	ARE-5-12	71.77	-15.6425	701
		Madrigal	ARE-5-13	71.8106	-15.6086	648
		Majes	ARE-5-14	72.1908	-16.3628	60,108
		San Antonio de Chuca	ARE-5-15	71.1086	-15.9286	886
		Sibayo	ARE-5-16	71.7461	-15.4931	669
		Tapay	ARE-5-17	71.9411	-15.5775	772
	Caylloma	Tisco	ARE-5-18	71.4461	-15.3475	1,441
		Tuti	ARE-5-19	71.5508	-15.5322	621
		Cabanaconde	ARE-5-2	71.9667	-15.6167	2,096
		Yanque	ARE-5-20	71.6619	-15.6497	2,117
		Callalli	ARE-5-3	71.4461	-15.5072	1,458
		Caylloma	ARE-5-4	71.775	-15.1903	3,697
		Chivay	ARE-5-5	71.6089	-15.6367	5,770
		Coporaque	ARE-5-6	71.6478	-15.6281	1,089
		Huambo	ARE-5-7	72.1103	-15.7308	670
		Huanca	ARE-5-8	71.88	-16.0325	1,010
		Ichupampa	ARE-5-9	71.6892	-15.6503	555
		Andaray	ARE-6-1	72.8606	-15.7969	677
		Cayarani	ARE-6-2	72.0231	-14.6831	3,212
		Chichas	ARE-6-3	72.9189	-15.5478	675
		Chuquibamba	ARE-6-4	72.6489	-15.8414	3,290
		Iray	ARE-6-5	72.5769	-15.8967	595
		Rio Grande	ARE-6-6	73.1464	-15.9581	3,263
		Salamanca	ARE-6-7	72.8381	-15.5061	478
		Yanaquihua	ARE-6-8	73.1611	-15.7811	3,928
		Cocachacra	ARE-7-1	71.77	-17.0914	8,347
	Islay	Dean Valdivia	ARE-7-2	71.8222	-17.1406	6,854
		Islay	ARE-7-3	72.1056	-17.0025	5,132

		Mejia	ARE-7-4	71.9061	-17.1025	1,172
		Mollendo	ARE-7-5	72.0156	-17.0208	24,073
		Punta de Bombon	ARE-7-6	71.8036	-17.1669	6,456
	La Unión	Alca	ARE-8-1	72.7811	-15.1472	1,849
		Tomepampa	ARE-8-10	72.8342	-15.1742	658
		Toro	ARE-8-11	72.9258	-15.2644	556
		Charcana	ARE-8-2	73.0797	-15.2411	577
		Cotahuasi	ARE-8-3	72.9008	-15.2106	2,925
		Huaynacotas	ARE-8-4	72.8497	-15.1742	1,913
		Pampamarca	ARE-8-5	72.9072	-15.2028	1,122
		Puyca	ARE-8-6	72.69	-15.0603	2,342
		Quechualla	ARE-8-7	73.0628	-15.3236	265
		Sayla	ARE-8-8	73.2225	-15.3192	319
Tauria	ARE-8-9	73.2372	-15.3525	301		
Ayacucho	Victor Fajardo	Alcamenca	AYA-10-1	74.2106	-13.6656	1,526
		Huancaraylla	AYA-10-10	74.1339	-13.7206	1,294
		Sarhua	AYA-10-11	74.3167	-13.6667	2,616
		Vilcanchos	AYA-10-12	74.5319	-13.6117	2,389
		Apongo	AYA-10-2	73.9317	-13.9953	630
		Asquipata	AYA-10-3	73.9325	-14.0131	460
		Canaria	AYA-10-4	73.905	-13.9236	3,977
		Cayara	AYA-10-5	73.9908	-13.7961	1,138
		Colca	AYA-10-6	74.0417	-13.7139	1,011
		Hualla	AYA-10-7	73.9508	-13.8478	2,092
		Huamanquiquia	AYA-10-8	74.2731	-13.7286	1,089
		Huancapi	AYA-10-9	74.0706	-13.7536	1,887
	Vilcas Huaman	Accomarca	AYA-11-1	73.8689	-13.8106	886
		Carhuanca	AYA-11-2	73.7867	-13.7422	819
		Concepcion	AYA-11-3	73.875	-13.5328	1,577
		Huambalpa	AYA-11-4	74.0033	-13.6186	1,340
		Independencia	AYA-11-5	73.8631	-13.9078	1,105
		Saurama	AYA-11-6	73.7578	-13.6939	1,038
		Vilcas Huaman	AYA-11-7	73.9575	-13.6542	6,370
		Vischongo	AYA-11-8	74.0019	-13.5892	3,726
	Cangallo	Cangallo	AYA-1-1	74.1444	-13.6292	5,479
		Chuschi	AYA-1-2	74.3522	-13.5842	8,321
		Los Morochucos	AYA-1-3	74.1956	-13.5567	7,463
María Parado de Bellido		AYA-1-4	74.2364	-13.6047	2,067	

		Paras	AYA-1-5	74.6275	-13.5525	4,104
		Totos	AYA-1-6	74.5228	-13.5678	3,009
	Huamanga	Acocro	AYA-2-1	74.0444	-13.2189	7,403
		Quinua	AYA-2-10	74.1394	-13.0489	5,083
		San Jose de Ticllas	AYA-2-11	74.3333	-13.1322	1,403
		San Juan Bautista	AYA-2-12	74.2236	-13.1658	49,034
		Santiago de Pischa	AYA-2-13	74.3925	-13.0853	1,427
		Socos	AYA-2-14	74.2875	-13.2108	5,952
		Tambillo	AYA-2-15	74.1108	-13.1944	5,047
		Vinchos	AYA-2-16	74.3542	-13.5419	13,634
		Acos Vinchos	AYA-2-2	74.1047	-13.1142	4,383
		Andres Avelino Cáceres Dorregaray	AYA-2-3	74.2058	-13.1578	28,472
		Ayacucho	AYA-2-4	74.2258	-13.1603	99,427
		Carmen Alto	AYA-2-5	74.2264	-13.1758	28,252
		Chiara	AYA-2-6	73.6675	-13.8681	5,698
		Jesús Nazareno	AYA-2-7	74.2181	-13.1553	18,492
		Ocros	AYA-2-8	73.9181	-13.3917	5,373
		Pacaycasa	AYA-2-9	74.2161	-13.0572	3,114
		Huanca Sancos	Carapo	AYA-3-1	74.3158	-13.8372
	Sacsamarca		AYA-3-2	74.3125	-13.9428	1,313
	Sancos		AYA-3-3	74.3339	-13.92	3,202
	Santiago de Lucanamarca		AYA-3-4	74.3719	-13.8439	2,068
	Huanta	Ayahuanco	AYA-4-1	74.3314	-12.5939	1,196
		Santillana	AYA-4-10	74.2578	-12.7656	3,852
		Sivia	AYA-4-11	73.8589	-12.5117	10,764
		Uchuraccay	AYA-4-12	74.1453	-12.7614	3,522
		Canayre	AYA-4-2	74.025	-12.2825	3,520
		Chaca	AYA-4-3	74.2069	-12.7836	2,162
		Huamanguilla	AYA-4-4	74.1733	-13.0111	4,162
		Huanta	AYA-4-5	74.2475	-12.9397	39,517
Iguain		AYA-4-6	74.2119	-12.9925	2,667	
Llochegua		AYA-4-7	73.9	-12.4	10,058	
Luricocha		AYA-4-8	74.2794	-12.8986	5,490	
Pucacolpa		AYA-4-9	74.4889	-12.4206	2,523	

	La Mar	Anchihuay	AYA-5-1	73.5814	-12.8633	4,039
		Santa Rosa	AYA-5-10	73.7458	-12.6878	11,279
		Tambo	AYA-5-11	74.0206	-12.9481	10,173
		Anco	AYA-5-2	73.7072	-13.06	7,969
		Ayna	AYA-5-3	73.8078	-12.6183	9,292
		Chilcas	AYA-5-4	73.9067	-13.1714	1,643
		Chungui	AYA-5-5	73.6211	-13.2214	4,218
		Luis Carranza	AYA-5-6	73.8967	-13.2247	1,278
		Oronccoy	AYA-5-7	73.4358	-13.3808	1,020
		Samugari	AYA-5-8	73.6561	-12.7683	9,410
		San Miguel	AYA-5-9	73.9806	-13.0136	10,326
	Lucanas	Aucara	AYA-6-1	74.1242	-14.6939	2,903
		Lucanas	AYA-6-10	74.1242	-14.6939	2,726
		Ocaña	AYA-6-11	74.8231	-14.3983	2,291
		Otoca	AYA-6-12	74.6856	-14.4892	18,666
		Puquio	AYA-6-13	74.1242	-14.6939	13,919
		Saisa	AYA-6-14	74.4156	-14.9389	791
		San Cristóbal	AYA-6-15	74.2225	-14.7431	1,718
		San Juan	AYA-6-16	74.1864	-14.6539	967
		San Pedro	AYA-6-17	74.0983	-14.7669	2,653
		San Pedro de Palco	AYA-6-18	74.6503	-14.4122	927
		Sancos	AYA-6-19	73.9517	-15.0622	4,778
		Cabana	AYA-6-2	74.1242	-14.6939	2,189
		Santa Ana de Huaycahuacho	AYA-6-20	73.9564	-14.2267	796
		Santa Lucia	AYA-6-21	74.5233	-14.9781	1,282
		Carmen Salcedo	AYA-6-3	73.9608	-14.3869	1,681
		Chaviña	AYA-6-4	73.8483	-14.9858	2,163
		Chipao	AYA-6-5	73.8764	-14.3661	2,554
		Huac-huas	AYA-6-6	74.1242	-14.6939	1,560
		Laramate	AYA-6-7	74.8428	-14.2867	1,577
		Leoncio Prado	AYA-6-8	74.1242	-14.6939	1,094
	Llauta	AYA-6-9	74.1242	-14.6939	893	
	Parinacochas	Chumpi	AYA-7-1	74.1242	-14.6939	2,186
		Coracora	AYA-7-2	73.7803	-15.0175	13,124
Coronel Castañeda		AYA-7-3	74.1242	-14.6939	1,722	
Pacapausa		AYA-7-4	73.3631	-14.9519	630	

		Pullo	AYA-7-5	73.8253	-15.2111	6,271
		Puyusca	AYA-7-6	73.5692	-15.2458	2,062
		San Francisco de Ravacayco	AYA-7-7	73.3519	-14.9972	516
		Upahuacho	AYA-7-8	73.3981	-14.9072	1,148
	Paucar del Sara Sara	Colta	AYA-8-1	73.2972	-15.1628	468
		Sara Sara	AYA-8-10	73.4553	-15.2447	514
		Corculla	AYA-8-2	73.2	-15.2631	445
		Lampa	AYA-8-3	73.3503	-15.1853	1,953
		Marcabamba	AYA-8-4	73.3453	-15.1469	613
		Oyolo	AYA-8-5	73.185	-14.1792	1,453
		Pararca	AYA-8-6	73.465	-15.2161	419
		Pausa	AYA-8-7	73.3472	-15.2789	3,231
		San Javier de Alpbamba	AYA-8-8	73.3275	-15.0581	292
		San Jose de Ushua	AYA-8-9	73.2306	-15.2261	221
	Sucre	Belén	AYA-9-1	73.7567	-13.8094	329
		Santiago de Paucaray	AYA-9-10	73.6381	-14.0442	594
		Soras	AYA-9-11	73.6042	-14.1144	1,025
		Chalcos	AYA-9-2	73.7525	-13.8508	478
		Chilcayoc	AYA-9-3	74.1242	-14.6939	496
		Huacaña	AYA-9-4	74.1242	-14.6939	374
		Morcolla	AYA-9-5	73.8728	-14.1114	1,240
		Paico	AYA-9-6	73.6433	-14.0375	553
		Querobamba	AYA-9-7	74.1242	-14.6939	2,570
San Pedro de Larcay		AYA-9-8	73.5733	-14.1686	808	
San Salvador de Quije	AYA-9-9	73.7342	-13.9683	978		
Cusco	Paruro	Accha	CUS-10-1	71.8319	-13.9711	3,028
		Ccapi	CUS-10-2	72.0811	-13.8528	3,079
		Colcha	CUS-10-3	71.8669	-13.8708	963
		Huanoquite	CUS-10-4	72.0164	-13.6825	4,867
		Omacha	CUS-10-5	71.7386	-14.0694	5,443
		Paccaritambo	CUS-10-6	71.9556	-13.7575	2,032
		Paruro	CUS-10-7	71.8472	-13.76119	3,205
		Pillpinto	CUS-10-8	71.76	-13.9539	1,026

		Yaurisque	CUS-10-9	71.9217	-13.6636	1,924
	Paucartambo	Caicay	CUS-11-1	71.6967	-13.5981	2,716
		Challabamba	CUS-11-2	71.6489	-13.2133	8,433
		Colquepata	CUS-11-3	71.6728	-13.3606	8,170
		Huancarani	CUS-11-4	71.6156	-13.5019	6,911
		Kosñipata	CUS-11-5	71.4636	-13.045	4,010
		Paucartambo	CUS-11-6	71.5928	-13.32	11,871
		Quispicanchi	Andahuaylillas	CUS-12-1	71.6739	-13.6711
	Oropesa		CUS-12-10	71.7656	-13.5964	9,444
	Quiquijana		CUS-12-11	71.5417	-13.8219	10,336
	Urcos		CUS-12-12	71.6267	-13.6847	10,614
	Camanti		CUS-12-2	70.7553	-13.2286	2,187
	Ccarhuayo		CUS-12-3	71.343	-13.5369	2,863
	Ccatca		CUS-12-4	71.5289	-13.6344	13,295
	Cusipata		CUS-12-5	71.5028	-13.5369	4,221
	Huaro		CUS-12-6	71.6725	-13.7553	4,505
	Lucre		CUS-12-7	71.7408	-13.6386	4,606
	Marcapata		CUS-12-8	70.9764	-13.5897	4,167
	Ocongate		CUS-12-9	71.3861	-13.6292	15,223
	Urubamba		Chincheru	CUS-13-1	72.0478	-13.3911
		Huayllabamba	CUS-13-2	72.0644	-13.3372	5,499
		Machu Picchu	CUS-13-3	72.5253	-13.1547	5,347
		Maras	CUS-13-4	72.1567	-13.3361	5,946
		Ollantaytambo	CUS-13-5	72.2631	-13.2575	10,165
		Urubamba	CUS-13-6	72.1178	-13.3056	20,082
		Yucay	CUS-13-7	72.0831	-13.3217	3,223
	Acomayo	Acomayo	CUS-1-1	71.685	-13.9189	4,532
		Acopia	CUS-1-2	71.4939	-14.0589	2,650
		Acos	CUS-1-3	71.7369	-13.9511	2,242
		Mosoc Llacta	CUS-1-4	71.4728	-14.12	1,096
		Pomacanchi	CUS-1-5	71.5711	-14.0369	7,204
		Rondocan	CUS-1-6	71.7928	-13.7917	1,938
		Sangarara	CUS-1-7	71.605	-13.9569	3,276
	Anta	Acahuasi	CUS-2-1	72.3006	-13.4558	6,784
		Anta	CUS-2-2	72.1489	-13.4717	21,674
		Cachimayo	CUS-2-3	72.0658	-13.4792	2,382
		Chinchaypujio	CUS-2-4	72.2339	-13.6308	4,026
		Huarocondo	CUS-2-5	72.2075	-13.4144	4,533
		Limatambo	CUS-2-6	72.4442	-13.4794	7,255

		Mollepata	CUS-2-7	72.5278	-13.5092	3,111	
		Pucyura	CUS-2-8	72.1117	-13.4792	2,990	
		Zurite	CUS-2-9	72.2558	-13.4556	3,451	
	Calca	Calca	CUS-3-1	71.9783	-13.3233	20,628	
		Coya	CUS-3-2	71.9	-13.3875	3,443	
		Lamay	CUS-3-3	71.92	-13.3642	5,313	
		Lares	CUS-3-4	72.0447	-13.1039	5,753	
		Pisac	CUS-3-5	71.8514	-13.4217	9,884	
		San Salvador	CUS-3-6	71.7792	-13.4922	5,232	
		Taray	CUS-3-7	71.8672	-13.4283	4,312	
		Yanatile	CUS-3-8	72.2819	-12.6817	8,590	
		Canas	Checca	CUS-4-1	71.3956	-14.4733	4,985
			Kunturkanki	CUS-4-2	71.3069	-14.5347	4,747
	Langui		CUS-4-3	71.2728	-14.4325	1,984	
	Layo		CUS-4-4	71.2253	-14.5053	5,134	
	Pampamarca		CUS-4-5	71.4594	-14.1453	1,838	
	Quehue		CUS-4-6	71.4553	-14.38	2,577	
	Tupac Amaru		CUS-4-7	71.5047	-14.1569	2,523	
	Yanaoca		CUS-4-8	71.4303	-14.2186	8,659	
	Canchis	Checacupe	CUS-5-1	71.4536	-14.0253	4,720	
		Combapata	CUS-5-2	71.4311	-14.1011	4,587	
		Marangani	CUS-5-3	71.1714	-14.3533	9,600	
		Pitumarca	CUS-5-4	71.4158	-13.9778	6,759	
		San Pablo	CUS-5-5	71.3161	-14.2019	4,224	
		San Pedro	CUS-5-6	71.3433	-14.1861	2,617	
		Sicuani	CUS-5-7	71.2317	-14.27	57,827	
		Tinta	CUS-5-8	71.4056	-14.1439	5,029	
	Chumbivilcas	Capacmarca	CUS-6-1	72.0017	-14.0078	3,866	
		Chamaca	CUS-6-2	71.8511	-14.3014	6,244	
		Colquemarca	CUS-6-3	72.04	-14.2858	6,897	
		Livitaca	CUS-6-4	71.6886	-14.3144	10,378	
Llusco		CUS-6-5	72.115	-14.3386	4,368		
Quiñota		CUS-6-6	72.1339	-14.3097	3,786		
Santo Tomas		CUS-6-7	72.0822	-14.4519	21,728		
Velille		CUS-6-8	71.8853	-14.5089	9,143		
Cusco	Ccorca	CUS-7-1	72.0592	-13.5839	2,246		
	Cusco	CUS-7-2	71.9714	-13.5261	114,630		
	Poroy	CUS-7-3	72.0422	-13.5019	2,436		
	San Jerónimo	CUS-7-4	71.8814	-13.5519	57,075		

		San Sebastián	CUS-7-5	71.9261	-15.5361	112,536	
		Santiago	CUS-7-6	71.9839	-13.5417	94,756	
		Saylla	CUS-7-7	71.8386	-13.565	5,368	
		Wanchaq	CUS-7-8	71.9564	-13.53	58,541	
	Espinar	Alto Pichigua	CUS-8-1	71.2514	-14.7778	1,934	
		Condorama	CUS-8-2	71.0864	-15.2439	870	
		Coporaque	CUS-8-3	71.5317	-14.7989	9,627	
		Espinar	CUS-8-4	71.4131	-14.7925	34,861	
		Ocoruro	CUS-8-5	71.1389	-15.0878	1,019	
		Pallpata	CUS-8-6	71.2106	-14.8931	4,823	
		Pichigua	CUS-8-7	71.4061	-14.6778	2,805	
		Suyckutambo	CUS-8-8	71.6433	-15.0089	1,643	
	La Convención	Echarate	CUS-9-1	72.5769	-12.7675	19,361	
		Santa Ana	CUS-9-10	72.7003	-12.8772	27,951	
		Santa Teresa	CUS-9-11	72.5986	-13.1297	5,972	
		Vilcabamba	CUS-9-12	73.1214	-13.1078	9,557	
		Villa Kintiarina	CUS-9-13	73.5281	-12.9181	1,974	
		Villa Virgen	CUS-9-14	73.5167	-13.0031	1,980	
		Huayopata	CUS-9-2	72.5569	-13.0075	4,773	
		Inkawasi	CUS-9-3	72.5175	-13.0031	4,285	
		Kimbiri	CUS-9-4	73.7889	-12.6194	15,962	
		Maranura	CUS-9-5	72.6639	-12.9636	4,134	
		Ocobamba	CUS-9-7	72.4472	-12.8708	4,327	
		Pichari	CUS-9-8	73.8294	-12.5197	22,593	
		Quellouno	CUS-9-9	72.6925	-12.6264	12,745	
	Ica	Chincha	Alto Laran	ICA-1-1	76.0831	-13.4425	7783
			Sunampe	ICA-1-10	76.1642	-13.4272	29,079
Tambo de Mora			ICA-1-11	76.1828	-13.4583	5,434	
Chavín			ICA-1-2	75.9131	-13.0769	2,071	
Chincha Alta			ICA-1-3	76.1294	-13.4158	66,349	
Chincha Baja			ICA-1-4	76.1617	-13.4589	13,009	
El Carmen			ICA-1-5	76.0575	-13.4997	12,369	
Grocio Prado			ICA-1-6	76.1564	-13.3986	25,294	
Pueblo Nuevo			ICA-1-7	76.1269	-13.4047	62,604	
San Juan de Yanac			ICA-1-8	75.7869	-13.2108	1,129	
San Pedro de Huacarpana			ICA-1-9	75.6478	-13.0489	992	
Ica		Ica	ICA-2-1	75.7292	-14.0639	150,280	

		San Juan Bautista	ICA-2-10	75.735	-14.0114	13,846	
		Santiago	ICA-2-11	75.7147	-14.1856	27,645	
		Subtanjalla	ICA-2-12	75.7583	-14.0183	27,387	
		Tate	ICA-2-13	75.7078	-14.1556	4,709	
		Yauca del Rosario	ICA-2-14	75.3781	-14.1736	1,116	
		La Tinguiña	ICA-2-2	75.7122	-14.0392	39,574	
		Los Aquijes	ICA-2-3	75.6914	-14.0964	21,963	
		Ocucaje	ICA-2-4	75.6717	-14.3469	4,392	
		Pachacútec	ICA-2-5	75.6917	-14.1522	7,411	
		Parcona	ICA-2-6	75.7069	-14.0483	54,047	
		Pueblo Nuevo	ICA-2-7	75.7058	-14.1272	6,395	
		Salas	ICA-2-8	75.7731	-13.9861	25,767	
		San Jose de los Molinos	ICA-2-9	75.6708	-13.9328	6,987	
		Nasca	Changuillo	ICA-3-1	75.2228	-14.6639	1,950
	El Ingenio		ICA-3-2	75.0583	-14.645	3,134	
	Marcona		ICA-3-3	75.1667	-15.3617	15,981	
	Nasca		ICA-3-4	74.9361	-14.8328	27,632	
	Vista Alegre		ICA-3-5	74.9439	-14.8453	20,460	
	Palpa	Llipata	ICA-4-1	75.2075	-14.5633	1,555	
		Palpa	ICA-4-2	75.1853	-14.5336	7,748	
		Rio Grande	ICA-4-3	75.2014	-14.52	2,658	
		Santa Cruz	ICA-4-4	75.2458	-14.4833	927	
		Tibillo	ICA-4-5	75.1719	-14.0936	344	
		Huancayo	ICA-5-1	75.6183	-13.6006	1,379	
		Humay	ICA-5-2	75.8867	-13.7225	5,408	
		Independencia	ICA-5-3	76.0239	-13.6939	12,987	
		Paracas	ICA-5-4	76.2081	-13.7125	7,147	
		Pisco	ICA-5-5	76.2	-13.7	67,467	
		San Andres	ICA-5-6	76.2214	-13.7308	13,767	
		San Clemente	ICA-5-7	76.1575	-13.6808	24,814	
		Tupac Amaru Inca	ICA-5-8	76.1492	-13.7133	17,775	
		Moquegua	General Sanchez Cerro	Chojata	MOQ-1-1	70.7303	-16.3886
	Ubinas			MOQ-1-10	70.8558	-16.3867	1,741
Yunga	MOQ-1-11			70.6781	-16.195	864	
Coalaque	MOQ-1-2			71.0208	-16.6489	948	
Ichuña	MOQ-1-3			70.5358	-16.1406	2,901	

		La Capilla	MOQ-1-4	71.1794	-16.7569	626	
		Lloque	MOQ-1-5	70.7386	-16.3239	570	
		Matalaque	MOQ-1-6	70.8261	-16.4819	455	
		Omate	MOQ-1-7	70.97	-16.6739	3,158	
		Puquina	MOQ-1-8	71.1844	-16.6256	2,376	
		Quinistaquillas	MOQ-1-9	70.8806	-16.7492	518	
	Ilo	El algarrobal	MOQ-2-1	71.2683	-17.6231	3,717	
		Ilo	MOQ-2-2	71.3397	-17.6475	66,479	
		Pacocha	MOQ-2-3	71.3403	-17.6117	4,453	
	Mariscal Nieto	Carumas	MOQ-3-1	70.6947	-16.8092	2,366	
		Cuchumbaya	MOQ-3-2	70.6861	-16.7511	761	
		Moquegua	MOQ-3-3	70.9344	-17.1939	65,808	
		Samegua	MOQ-3-4	70.9	-17.1819	8,480	
		San Cristóbal	MOQ-3-5	70.6836	-16.7394	1,736	
		Torata	MOQ-3-6	70.8444	-17.0764	6,198	
	Puno	Azangaro	Achaya	PUN-1-1	70.0169	-15.2861	2,826
			Arapa	PUN-1-2	70.1175	-15.1417	7,020
			Asillo	PUN-1-3	70.3561	-14.7928	14,484
Azangaro			PUN-1-4	70.1972	-14.9097	30,070	
Caminaca			PUN-1-5	70.0728	-15.3242	2,931	
Chupa			PUN-1-6	69.9956	-15.1047	6,475	
Jose Domingo Choquehuanca			PUN-1-7	70.3386	-15.0328	4,462	
Muñani			PUN-1-8	69.9525	-14.7636	6,445	
Potoni			PUN-1-9	70.1003	-14.3361	3,939	
Saman			PUN-1-10	70.0169	-15.2917	9,645	
San Antón			PUN-1-11	70.3108	-14.5881	7,298	
San Jose			PUN-1-12	70.1744	-14.6872	4,818	
San Juan de Salinas			PUN-1-13	70.1058	-14.9906	2,841	
Santiago de Pupuja			PUN-1-14	70.2781	-15.0556	4,407	
Tirapata			PUN-1-15	70.4042	-14.9561	2,731	
San Antonio de Putina		Ananea	PUN-10-1	69.5322	-14.6778	12,615	
		Pedro Vilca Apaza	PUN-10-2	69.8836	-15.0622	1,909	
		Putina	PUN-10-3	69.8736	-14.9139	14,753	
		Quilcapuncu	PUN-10-4	69.7367	-14.8942	5,187	
		Sina	PUN-10-5	69.2808	-14.4956	1,649	

	San Roman	Cabana	PUN-11-1	70.3206	-15.6506	4,843
		Cabanillas	PUN-11-2	70.3492	-15.6411	4,567
		Caracoto	PUN-11-3	70.1072	-15.5692	6,818
		Juliaca	PUN-11-4	70.1333	-15.5025	228,726
		San Miguel	PUN-11-5	70.1242	-15.4786	62,463
	Sandia	Alto Inambari	PUN-12-1	69.2433	-14.0906	6,495
		Yanahuaya	PUN-12-10	69.1731	-14.2567	1,936
		CuyoCuyo	PUN-12-2	69.5367	-14.4689	5,024
		Limbani	PUN-12-3	70.2606	-14.1361	2,970
		Patambuco	PUN-12-4	69.8481	-14.2703	3,863
		Phara	PUN-12-5	69.665	-14.1522	5,091
		Quiaca	PUN-12-6	69.3453	-14.4222	2,131
		San Juan del Oro	PUN-12-7	69.2167	-14.2869	3,733
		San Pedro de Putina Punco	PUN-12-8	69.0458	-14.1131	8,537
		Sandia	PUN-12-9	69.4653	-14.3222	10,266
	Yunguyo	Anapia	PUN-13-1	68.8719	-16.2919	85
		Copani	PUN-13-2	69.0403	-16.3997	4,655
		Cuturapi	PUN-13-3	69.1778	-16.2703	1,270
		Ollaraya	PUN-13-4	68.9914	-16.2194	2,564
		Tinicachi	PUN-13-5	68.9608	-16.1986	949
		Unicachi	PUN-13-6	68.9908	-16.2222	915
		Yunguyo	PUN-13-7	69.0925	-16.2442	24,515
	Carabaya	Ajoyani	PUN-2-1	70.2247	-14.2308	2,138
		Usicayos	PUN-2-10	69.9678	-14.1264	8,992
		Ayapata	PUN-2-2	70.3225	-13.7778	8,715
		Coasa	PUN-2-3	70.0172	-13.9867	1,984
		Corani	PUN-2-4	70.6081	-13.8753	3,935
		Crucero	PUN-2-5	70.0222	-14.3606	9,108
		Ituata	PUN-2-6	70.2514	-13.7911	6,995
		Macusani	PUN-2-7	70.4314	-14.0686	12,654
		Ollachea	PUN-2-8	70.4714	-13.7947	6,027
		San Gaban	PUN-2-9	70.3894	-13.4333	6,832
	Chucuito	Desaguadero	PUN-3-1	69.0472	-16.5647	13,787
Huacullani		PUN-3-2	69.3217	-16.6303	9,237	
Juli		PUN-3-3	69.4586	-16.2133	19,773	
Kelluyo		PUN-3-4	69.2494	-16.7267	7,346	
Pisacoma		PUN-3-5	69.3656	-16.9081	8,223	
Pomata		PUN-3-6	69.3089	-16.2667	13,707	

		Zepita	PUN-3-7	69.11	-16.4989	16,929
	El Collao	Capazo	PUN-4-1	69.7444	-17.1836	1,130
		Conduriri	PUN-4-2	69.7025	-16.6156	2,529
		Ilave	PUN-4-3	69.6414	-16.0825	45,830
		Pilcuyo	PUN-4-4	69.5564	-16.1117	10,572
		Santa Rosa	PUN-4-5	69.7233	-16.7422	3,529
	Huancane	Cojata	PUN-5-1	69.5261	-15.0997	3,764
		Huancane	PUN-5-2	69.7631	-15.1997	18,490
		Huatasani	PUN-5-3	69.8117	-15.0547	3,083
		Inchupalla	PUN-5-4	69.6828	-15.0092	2,642
		Pusi	PUN-5-5	69.9311	-15.4422	4,937
		Rosaspata	PUN-5-6	69.5269	-15.235	4,079
		Taraco	PUN-5-7	69.9783	-15.2989	12,935
		Vilque Chico	PUN-5-8	69.6906	-15.2153	7,002
	Lampa	Cabanilla	PUN-6-1	70.3456	-15.6206	5,352
		Vilavila	PUN-6-10	70.6742	-15.1939	1,233
		Calapuja	PUN-6-2	70.2242	-15.3178	1,585
		Lampa	PUN-6-3	70.3661	-15.3633	11,206
		Nicasio	PUN-6-4	70.265	-15.2419	2,360
		Ocuviri	PUN-6-5	71.2094	-15.1208	2,237
		Palca	PUN-6-6	70.5972	-15.2367	1,817
		Paratia	PUN-6-7	70.6075	-15.4581	2,732
		Pucara	PUN-6-8	70.3786	-15.0489	5,306
		Santa Lucia	PUN-6-9	70.6092	-15.6956	7,028
	Melgar	Antauta	PUN-7-1	70.2922	-14.2972	5,359
		Ayaviri	PUN-7-2	70.59	-14.8819	24,452
		Cupi	PUN-7-3	70.8708	-14.9042	1,986
		Llalli	PUN-7-4	70.8847	-14.9469	2,532
		Macari	PUN-7-5	70.9117	-14.7725	6,947
		Nuñoa	PUN-7-6	70.6411	-14.48	8,450
		Orurillo	PUN-7-7	70.515	-14.7253	7,651
		Santa Rosa	PUN-7-8	70.7861	-14.6075	6,197
		Umachiri	PUN-7-9	70.7547	-14.8533	3,564
	Moho	Conima	PUN-8-1	69.4372	-15.4614	998
		Huayrapata	PUN-8-2	69.3461	-15.3219	2,613
		Moho	PUN-8-3	69.4997	-15.3606	10,582
		Tilali	PUN-8-4	69.3508	-15.5167	2,313
	Puno	Acora	PUN-9-1	69.8042	-15.975	21,532
		Pichacani	PUN-9-10	70.0675	-16.1478	5,679

		Plateria	PUN-9-11	69.8372	-15.9494	6,743	
		Puno	PUN-9-12	70.0217	-15.8397	133,963	
		San Antonio	PUN-9-13	70.5583	-16.0986	2,413	
		Tiquillaca	PUN-9-14	70.1894	-15.7975	1,594	
		Vilque	PUN-9-15	70.2611	-15.7661	2,761	
		Amantani	PUN-9-2	69.71	-15.6642	3,297	
		Atuncolla	PUN-9-3	70.1447	-15.6886	4,555	
		Capcachica	PUN-9-4	69.8244	-15.6406	5,195	
		Chucuito	PUN-9-5	69.8969	-15.9014	6,671	
		Coata	PUN-9-6	69.9503	-15.5711	6,588	
		Huata	PUN-9-7	69.9739	-15.6142	2,869	
		Mañazo	PUN-9-8	70.3481	-15.8011	5,144	
		Paucarcolla	PUN-9-9	70.0586	-15.7461	4,224	
	Candarave	Cairani	TAC-1-1	70.3639	-17.2853	988	
		Camilaca	TAC-1-2	70.3803	-17.2683	1,148	
		Candarave	TAC-1-3	70.2503	-17.2683	2,354	
		Curibaya	TAC-1-4	70.3353	-17.3825	377	
		Huanuara	TAC-1-5	70.3222	-17.3136	515	
		Quilahuani	TAC-1-6	70.2583	-17.3181	720	
	Jorge Basadre	Ilabaya	TAC-2-1	70.5128	-17.4208	5,695	
		Ite	TAC-2-2	70.5756	-17.5242	2,822	
		Locumba	TAC-2-3	70.7622	-17.6139	2,256	
		Alto de la Alianza	TAC-3-1	70.2481	-17.9947	34,061	
		Sama	TAC-3-10	70.5619	-17.865	3,227	
		Tacna	TAC-3-11	70.2508	-18.0175	92,972	
	Tacna	Tacna	Calana	TAC-3-2	70.1861	-17.9389	2,979
Ciudad Nueva			TAC-3-3	70.2356	-17.9836	31,866	
Coronel Gregorio Albarracin Lanchipa			TAC-3-4	70.2542	-18.0397	110,417	
Inclan			TAC-3-5	70.495	-17.795	2,613	
La Yarada los Palos			TAC-3-6	70.4389	-18.2856	5,559	
Pachia			TAC-3-7	70.1547	-17.8969	2,062	
Palca			TAC-3-8	69.9597	-17.7781	1,980	
Pocollay			TAC-3-9	70.2214	-17.9969	18,627	
Tarata			Estique	TAC-4-1	70.0186	-17.5419	240
			Pampa	TAC-4-2	70.0317	-17.5389	162
			Heroes Albarracin	TAC-4-3	70.1225	-17.4803	306

	Sitajara	TAC-4-4	70.1339	-17.3756	350
	Susapaya	TAC-4-5	70.1328	-17.3533	518
	Tarata	TAC-4-6	70.0319	-17.4747	3,642
	Tarucachi	TAC-4-7	70.0289	-17.5264	295
	Ticaco	TAC-4-8	70.0478	-17.4444	581

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 2. Alternativas de propuestas para 39, 42, 45, 48, 51, 57, 60, 63, 66 y 69 almacenes.

Tabla 58. Propuesta de distribución de almacenes usando 39 almacenes.

Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad	Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad
1	15	116,431	44	11	107,042
3	26	61,249	45	11	136,081
4	36	150,001	47	11	226,113
8	15	107,179	49	15	391,863
10	21	76,497	50	13	88,706
12	28	1,043,024	51	8	150,744
13	12	90,032	53	3	74,649
15	7	84,053	54	20	108,011
16	8	55,630	55	13	348,516
19	13	47,733	57	13	98,820
24	20	28,282	58	14	99,639
28	32	45,726	59	9	43,444
29	24	64,027	60	8	39,771
31	25	355,915	61	14	49,548
33	12	102,610	62	15	127,484
35	20	45,074	63	8	51,512
37	11	34,495	66	10	239,129
39	19	83,024	69	13	71,961
40	31	612,632	72	20	313,587
41	20	135,500	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59. Propuesta de distribución de almacenes usando 42 almacenes.

Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad	Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad
1	15	116,431	44	11	107,042
3	26	61,249	45	11	136,081
4	36	150,001	47	11	226,113
8	15	107,179	49	15	391,863
10	21	76,497	50	12	72,725
12	28	1,043,024	51	8	150,744
13	12	90,032	53	3	74,649
15	7	84,053	54	20	108,011
16	8	55,630	55	12	347,518
18	6	28,961	57	13	98,820
19	8	34,753	58	8	53,109

24	20	28,282	59	9	43,444
28	32	45,726	60	8	39,771
29	24	64,027	61	14	49,548
31	25	355,915	62	11	99,149
33	12	102,610	63	8	51,512
35	20	45,074	64	6	31,994
37	11	34,495	66	8	234,287
39	19	83,024	67	8	49,841
40	31	612,632	69	13	71,961
41	20	135,500	72	19	312,457

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60. Propuesta de distribución de almacenes usando 45 almacenes.

Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad	Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad
1	14	114,538	44	11	107,042
3	18	47,365	45	8	89,659
4	23	135,705	46	8	57,014
7	23	32,849	47	11	226,113
8	15	107,179	49	15	391,863
10	21	76,497	50	12	72,725
12	28	1,043,024	51	8	150,744
13	7	73,057	53	3	74,649
15	7	84,053	54	20	108,011
16	7	52,367	55	12	347,518
18	6	28,961	57	13	98,820
19	8	34,753	58	8	53,109
22	15	31,628	59	9	43,444
24	17	24,751	60	8	39,771
28	25	36,224	61	14	49,548
29	24	64,027	62	11	99,149
31	25	355,915	63	8	51,512
33	12	102,610	64	6	31,994
35	20	45,074	66	8	234,287
37	10	31,719	67	8	49,841
39	19	83,024	69	9	63,012
40	31	612,632	72	19	312,457
41	20	135,500	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61. Propuesta de distribución de almacenes usando 48 almacenes.

Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad	Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad
1	14	114,538	41	16	103,016
3	18	47,365	42	4	32,484
4	23	135,705	44	11	107,042
7	23	32,849	45	8	89,659
8	11	66,852	46	8	57,014
10	21	76,497	47	11	226,113
12	28	1,043,024	49	15	391,863
13	7	73,057	50	12	72,725
15	7	84,053	51	8	150,744

16	7	52,367	53	3	74,649
17	5	20,013	54	20	108,011
18	6	28,961	55	12	347,518
19	6	22,541	57	13	98,820
22	14	28,365	58	8	53,109
24	17	24,751	59	9	43,444
27	5	50,705	60	8	39,771
28	24	32,296	61	14	49,548
29	24	64,027	62	11	99,149
31	25	355,915	63	8	51,512
33	12	102,610	64	6	31,994
35	20	45,074	66	8	234,287
37	9	31,109	67	8	49,841
39	18	72,646	69	9	63,012
40	31	612,632	72	19	312,457

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62. Propuesta de distribución de almacenes usando 51 almacenes.

Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad	Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad
1	14	114,538	42	4	32,484
3	18	47,365	44	11	107,042
4	13	122,794	45	8	89,659
7	23	32,849	46	8	57,014
8	11	66,852	47	11	226,113
10	17	67,384	49	15	391,863
12	28	1,043,024	50	12	72,725
13	7	73,057	51	8	150,744
15	7	84,053	53	3	74,649
16	7	52,367	54	12	93,392
17	5	20,013	55	12	347,518
18	6	28,961	56	5	42,701
19	6	22,541	57	10	72,220
22	14	28,365	58	8	53,109
24	17	24,751	59	9	43,444
27	5	50,705	60	8	39,771
28	24	32,296	61	14	49,548
29	15	47,766	62	11	99,149
30	24	39,081	63	8	51,512
31	25	355,915	64	6	31,994
33	12	102,610	66	8	234,287
35	19	44,278	67	8	49,841
37	9	31,109	69	7	46,911
39	18	72,646	70	16	20,713
40	31	612,632	72	11	306,363
41	16	103,016	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63. Propuesta de distribución de almacenes usando 57 almacenes.

Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad	Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad
1	12	109,717	40	26	593,626

3	15	36,691	41	13	96,910
4	13	122,794	42	4	32,484
7	23	32,849	44	10	97,485
8	8	56,879	45	8	89,659
9	8	30,545	46	8	57,014
10	14	53,217	47	11	226,113
12	25	1,038,281	49	15	391,863
13	7	73,057	50	12	72,725
15	7	84,053	51	8	150,744
16	7	52,367	52	13	16,827
17	4	19,403	53	3	74,649
18	6	28,961	54	4	82,742
19	6	22,541	55	12	347,518
20	17	15,195	56	5	42,701
21	12	18,126	57	10	72,220
22	6	20,735	58	8	53,109
24	15	23,379	59	9	43,444
27	5	50,705	60	8	39,771
28	11	13,360	61	12	48,114
29	15	47,766	62	11	99,149
30	24	39,081	63	8	51,512
31	25	355,915	64	6	31,994
33	10	96,597	66	8	234,287
34	6	29,737	67	8	49,841
35	19	44,278	69	7	46,911
37	4	26,336	70	16	20,713
38	12	33,278	72	11	306,363
39	14	59,403	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 64. Propuesta de distribución de almacenes usando 60 almacenes.

Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad	Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad
1	7	93,636	39	14	59,403
3	15	36,691	40	26	593,626
4	13	122,794	41	13	96,910
6	7	18,743	42	4	32,484
7	21	30,187	44	10	97,485
8	8	56,879	45	8	89,659
9	8	30,545	46	8	57,014
10	14	53,217	47	11	226,113
12	25	1,038,281	49	15	391,863
13	7	73,057	50	12	72,725
15	7	84,053	51	8	150,744
16	7	52,367	52	13	16,827
17	4	19,403	53	3	74,649
18	6	28,961	54	4	82,742
19	6	22,541	55	12	347,518
20	17	15,195	56	5	42,701
21	12	18,126	57	8	59,197
22	6	20,735	58	8	53,109
24	15	23,379	59	9	43,444
27	5	50,705	60	8	39,771

28	11	13,360	61	10	38,354
29	15	47,766	62	11	99,149
30	24	39,081	63	8	51,512
31	22	346,379	64	6	31,994
32	5	13,255	66	8	234,287
33	8	92,878	67	8	49,841
34	6	29,737	68	5	24,016
35	19	44,278	69	6	45,678
37	4	26,336	70	16	20,713
38	12	33,278	72	11	306,363

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65. Propuesta de distribución de almacenes usando 63 almacenes.

Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad	Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad
1	7	93,636	39	14	59,403
3	15	36,691	40	26	593,626
4	12	121,181	41	13	96,910
5	14	20,857	42	4	32,484
6	7	18,743	43	2	6,354
7	17	25,292	44	10	97,485
8	8	56,879	45	8	89,659
9	8	30,545	46	8	57,014
10	14	53,217	47	11	226,113
12	23	1,036,018	49	15	391,863
13	7	73,057	50	12	72,725
14	9	11,915	51	8	150,744
15	7	84,053	52	8	12,489
16	7	52,367	53	3	74,649
17	4	19,403	54	4	82,742
18	6	28,961	55	12	347,518
19	6	22,541	56	5	42,701
20	17	15,195	57	8	59,197
21	12	18,126	58	8	53,109
22	6	20,735	59	9	43,444
24	15	23,379	60	8	39,771
27	5	50,705	61	8	33,040
28	11	13,360	62	11	99,149
29	15	47,766	63	6	45,158
30	16	27,286	64	6	31,994
31	22	346,379	66	8	234,287
32	5	13,255	67	8	49,841
33	8	92,878	68	5	24,016
34	6	29,737	69	6	45,678
35	18	41,724	70	16	20,713
37	4	26,336	72	11	306,363
38	12	33,278	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 66. Propuesta de distribución de almacenes usando 66 almacenes.

Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad	Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad
--------------------	-----------------------	-----------	--------------------	-----------------------	-----------

1	7	93,636	38	12	33,278
3	15	36,691	39	14	59,403
4	12	121,181	40	26	593,626
5	14	20,857	41	13	96,910
6	7	18,743	42	4	32,484
7	17	25,292	43	2	6,354
8	8	56,879	44	10	97,485
9	8	30,545	45	8	89,659
10	11	45,279	46	8	57,014
11	6	14,585	47	11	226,113
12	23	1,036,018	49	15	391,863
13	7	73,057	50	8	66,064
14	9	11,915	51	8	150,744
15	7	84,053	52	8	12,489
16	7	52,367	53	3	74,649
17	4	19,403	54	3	80,486
18	6	28,961	55	12	347,518
19	6	22,541	56	5	42,701
20	17	15,195	57	8	59,197
21	12	18,126	58	8	53,109
22	6	20,735	59	9	43,444
24	15	23,379	60	8	39,771
27	5	50,705	61	8	33,040
28	11	13,360	62	11	99,149
29	15	47,766	63	6	45,158
30	15	23,560	64	6	31,994
31	20	343,458	66	8	234,287
32	5	13,255	67	8	49,841
33	8	92,878	68	5	24,016
34	6	29,737	69	6	45,678
35	18	41,724	70	15	17,891
36	4	6,661	71	4	10,918
37	4	26,336	72	9	300,523

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 67. Propuesta de distribución de almacenes usando 69 almacenes.

Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad	Código del Almacén	Cantidad de distritos	Capacidad
1	7	93,636	38	12	33,278
2	9	13,282	39	14	59,403
3	15	36,691	40	26	593,626
4	12	121,181	41	13	96,910
5	14	20,857	42	4	32,484
6	2	11,233	43	2	6,354
7	13	19,520	44	10	97,485
8	8	56,879	45	8	89,659
9	8	30,545	46	7	55,371
10	11	45,279	47	11	226,113
11	6	14,585	49	15	391,863
12	23	1,036,018	50	8	66,064
13	7	73,057	51	8	150,744
14	9	11,915	52	8	12,489
15	7	84,053	53	3	74,649

16	7	52,367	54	3	80,486
17	4	19,403	55	12	347,518
18	6	28,961	56	5	42,701
19	6	22,541	57	8	59,197
20	17	15,195	58	8	53,109
21	12	18,126	59	9	43,444
22	6	20,735	60	8	39,771
24	14	19,682	61	8	33,040
25	2	5,340	62	11	99,149
27	5	50,705	63	6	45,158
28	11	13,360	64	5	30,864
29	15	47,766	65	9	7,224
30	15	23,560	66	8	234,287
31	20	343,458	67	8	49,841
32	5	13,255	68	5	24,016
33	8	92,878	69	6	45,678
34	6	29,737	70	7	11,797
35	18	41,724	71	4	10,918
36	4	6,661	72	9	300,523
37	4	26,336	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

