

# **Pontificia Universidad Católica del Perú**

## **Facultad de Ciencias e Ingeniería**



### **PROPUESTA DE LOCALIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ALMACENES PARA LA DISTRIBUCIÓN DE AYUDA HUMANITARIA EN LOS PRINCIPALES DEPARTAMENTOS DEL PERÚ AFECTADOS POR HELADAS Y FRIAJES MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES**

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

**Luigi Alejandro Flores Rojas**

**Asesor: Rojas Polo, Jonatan Edward**

Lima, Abril 2019

## Resumen

La presente investigación pretende formular una propuesta alternativa para la localización de almacenes, así como determinar su capacidad respectiva para albergar kits de ayuda humanitaria ante la ocurrencia de heladas y friajes en los distritos más afectados por estos desastres. El principal objetivo de esta propuesta es calcular la cantidad de almacenes necesarios y su ubicación óptima para atender a personas afectadas por los eventos de bajas temperaturas antes mencionados. Para alcanzar los resultados deseados, los cálculos se dividieron en dos grupos: la aplicación de métodos de clustering y la formulación del modelo de programación lineal.

En la aplicación de métodos de clustering, se realiza el tratamiento adecuado a todos los indicadores sociales, económicos y demográficos escogidos sobre la totalidad de los distritos del Perú afectados por heladas o friajes para obtener el grupo de distritos más vulnerables que, a su vez, se encuentren lo más cercanos entre sí. Se utilizan distintos métodos de clustering y se comparan las clasificaciones de distritos resultantes mediante el índice de Dunn, el cual es uno de los más utilizados para evaluar las particiones obtenidas a partir de algún algoritmo de clustering. Finalmente, se elige el método que presenta un mejor desempeño del índice de Dunn y se identifican los distritos que serán considerados para la siguiente etapa.

La segunda etapa de cálculos comprende la formulación del modelo de programación lineal, el cual permitirá identificar la cantidad de almacenes necesarios para atender a la población de los distritos resultantes de la primera etapa, así como la ubicación de estos.

Finalmente, se comparan los resultados obtenidos con respecto a la propuesta actual del Plan Multisectorial ante Heladas y Friajes formulado por el Gobierno Peruano y se evidencian los beneficios del presente trabajo considerando los supuestos asumidos durante toda la investigación.

La siguiente investigación está dedicada a todos los amigos, familiares, profesores y conocidos que me han influenciado durante mi etapa universitaria y, en especial, a mis padres. Sin su apoyo nada de esto sería posible.



### TEMA DE TESIS

PARA OPTAR : Título de Ingeniero Industrial  
 ALUMNO(A) : **LUIGI ALEJANDRO FLORES ROJAS**  
 CÓDIGO : 20121918.1  
 PROPUESTO POR : Jonatán Edward Rojas Polo  
 ASESOR(A) : Jonatán Edward Rojas Polo  
 TEMA : PROPUESTA DE LOCALIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ALMACENES PARA LA DISTRIBUCIÓN DE AYUDA HUMANITARIA EN LOS PRINCIPALES DEPARTAMENTOS DEL PERÚ AFECTADOS POR HELADAS Y FRIAJES MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES  
 N° TEMA : No consignar información  
 FECHA : San Miguel, 13 de diciembre de 2018

### **JUSTIFICACIÓN:**

Entre los años 2003 al 2015, el número de emergencias y desastres a nivel nacional ha ido aumentando y totaliza alrededor de 4322 emergencias de todos los tipos en 2015 en comparación de las 3316 contabilizadas al inicio del periodo mencionado. Asimismo, la cantidad de personas afectadas y damnificadas que resultaron de dichos eventos naturales, usualmente, incrementaron proporcionalmente al número de desastres ocurridos en cada año. Debido a esto, se esperaba que la ayuda humanitaria brindada a la población debía seguir un comportamiento muy parecido; sin embargo, esto no se evidencia claramente en el 2015, año en el que se repartió una menor cantidad de ayuda humanitaria (medida en kg), en contraste con otros años en los que la magnitud de las personas perjudicadas resultaba inferior<sup>1</sup>.

A causa de que las circunstancias que resultan de un desastre natural son totalmente diferentes a las experimentadas cotidianamente, es preciso utilizar otros métodos y conocimientos para afrontar los problemas de prevención, distribución de bienes y respuesta ante tales situaciones apremiantes. Como resultado de esto, se formuló el concepto de cadena de suministro humanitaria, la cual se define como el proceso de evacuación de personas desde las zonas afectadas por un desastre a lugares seguros y el planeamiento,

---

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Defensa Civil (2016). *Compendio Estadístico del INDECI 2016 en la preparación, respuesta y rehabilitación ante emergencias y desastres*. Lima.

implementación y control eficiente de los recursos, mientras se recolecta información relevante desde el punto de abastecimiento hasta el punto de consumo con el propósito de aliviar el sufrimiento de la población vulnerable<sup>2</sup>. Asimismo, cabe resaltar que el objetivo principal y más importante de las actividades relacionadas a la logística humanitaria es la de salvar el mayor número de vidas posible y mantener condiciones aceptables en cuanto a su calidad de vida; por lo tanto, esta meta debe primar por sobre otros factores como el gasto público o privado que conlleva la implementación de la cadena de suministro humanitaria.

En el caso de Perú, dos de los eventos más recurrentes año a año, debido a su carácter estacional, son los fenómenos de las heladas y los friajes. Las primeras se producen por el descenso de la temperatura del ambiente a 0 °C o menos en un tiempo mayor a cuatro horas por la disminución de la nubosidad de los Andes, lo que ocasiona, por lo general, la formación de hielo en las superficies<sup>3</sup>. En cambio, las segundas se generan con la incursión de masas de aire polares en las zonas de la región selva del país, principalmente, lo que ocasiona un descenso repentino de la temperatura, intensificación de los vientos y aumento de la presión atmosférica<sup>4</sup>. Estos fenómenos afectan a varios departamentos de la Sierra y Selva peruana, la mayoría de ellos presentan provincias y distritos en los que la población vive en condiciones muy precarias y en lugares de difícil acceso, lo que dificulta la labor de distribución de kits y de ayuda ante los eventos previamente mencionados. Lo agravante de esta situación es que las heladas y friajes afectan también a los animales y los cultivos de las personas, su principal sustento económico; por ello, los kits que se les reparte para afrontar estos fenómenos deben constituirse para salvaguardar tanto la salud de las personas como los medios por los cuales generan sus ingresos económicos.

De acuerdo con cifras del INDECI (2016), durante el periodo 2003-2015, los fenómenos de bajas temperaturas, como las heladas y friajes, fueron las que involucraron una mayor cantidad de población afectada en comparación con los demás tipos de desastres que se presentaron en el país al contabilizar casi 5 millones de personas perjudicadas en los años mencionados, cifra que duplica al segundo lugar ocupado por los desastres producidos por lluvias intensas, los cuales rondan los 2.3 millones de afectados. Asimismo, en cuanto a daños materiales producidos por desastres en el 2015, los eventos meteorológicos de bajas temperaturas ocupan el segundo lugar en hectáreas de cultivos destruidas al registrar más de 6000 ha arrasadas<sup>5</sup>.

Es importante recalcar que en el 2015 la incidencia de fenómenos de bajas temperaturas fue el de mayor registro durante el periodo 2003-2015 al totalizar 911 eventos, lo que representa un aumento del 80% respecto al año anterior. Por este motivo, los indicadores de personas, viviendas y hectáreas de cultivo afectadas y destruidas alcanzaron su pico en el periodo mencionado anteriormente.

---

<sup>2</sup> Habib, M. S., Lee, Y. H., & Memon, M. S. (2016). Mathematical models in humanitarian supply chain management: A systematic literature review. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016.

<sup>3</sup> Guadalupe, M. R. L. (2007). Heladas, Serie Fascículos. *Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación*.

<sup>4</sup> Quispe, N. (2006). Friaie. *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología*.

<sup>5</sup> Instituto Nacional de Defensa Civil (2016). *Compendio Estadístico del INDECI 2016 en la preparación, respuesta y rehabilitación ante emergencias y desastres*. Lima.

La mejora y optimización de los procesos y actividades logísticas ligados a las heladas y friajes resultan significativas para el bienestar de la población y la economía del país, pero también resulta vital para que las autoridades involucradas estén más conscientes de la relevancia de llevar a cabo una adecuada Gestión de Desastres ante eventos que resultan más estacionales como estos, puesto que si no es posible administrar correctamente un fenómeno que ocurre anualmente, entonces, con certeza, el escenario que se deba afrontar ante un evento desastroso de mayor magnitud como terremotos o fuertes inundaciones será incontrolable, con lo que las consecuencias resultantes quedarán como una marca muy profunda en la vida de los peruanos.

#### **OBJETIVO GENERAL:**

Proponer un modelo que permita optimizar la cadena de logística humanitaria ante los friajes y heladas a través de la localización y determinación de la capacidad de almacenes. El modelo mencionado busca una eficiente distribución de los bienes y recursos destinados a la población de los departamentos más afectados del país, lo cual se reflejará en la minimización del indicador de personas atendidas por kilómetro.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Investigar sobre las metodologías empleadas en la Cadena de Suministro de la Logística Humanitaria y sobre la Gestión de Desastres que puedan ser de utilidad para el trabajo de investigación.
- Describir la situación actual de los Planes de Gestión de Desastres para heladas y friajes en el Perú, así como los efectos que estos fenómenos ocasionan a la población y el país año tras año.
- Analizar los bienes que deberían componer los kits de emergencia y sus limitaciones para su almacenamiento.
- Identificar y proponer los algoritmos, modelos matemáticos y demás herramientas relativas a la Investigación Operativa que sean de utilidad para la determinación de la ubicación y capacidad óptima de los almacenes bajo las circunstancias actuales para una mejor cobertura hacia el poblador.
- Describir los posibles inconvenientes y factores determinantes que afectan a la implementación de la propuesta.

#### **PUNTOS A TRATAR:**

##### **a. Marco Teórico.**

Se expondrán, en primer lugar, los conceptos generales relativos a la cadena de suministro humanitaria y su administración ante desastres en general. En segundo lugar, se profundizará en la Gestión de Desastres y la serie de acciones que se deben llevar a cabo de forma de continua para tener la capacidad de afrontar emergencias adecuadamente, aun cuando no se sepa el momento en el que ocurrirán. Finalmente, se realizará una investigación sobre los modelos matemáticos y algoritmos adecuados para

los casos de relacionados a localización de almacenes para la distribución de ayuda humanitaria.

**b. Estudio de Casos.**

Se analizarán casos relacionados a los temas planteados en la problemática a resolver con el objetivo de identificar nuevas herramientas y su uso en los tópicos de interés, de manera que se pueda considerar su posterior utilización en el modelo a formular.

**c. Análisis de la Situación Actual.**

Se informará sobre los actuales Planes de Gestión de Desastres relacionados a las heladas y friajes, su desempeño en los últimos años y los principales inconvenientes que atañen a esta actividad en las zonas afectadas por estos desastres con el fin de poder formular una propuesta que mejore los resultados actuales.

**d. Modelos y Algoritmos Propuestos.**

Con la información obtenida, se procederá a formular un modelo matemático que permita obtener los puntos de localización óptimos de los almacenes destinados para abastecer a la población afectada en caso de desastres, así como su capacidad y tipos de bienes que puede albergar.

**e. Análisis de Resultados.**

Se realizará una evaluación de las ubicaciones obtenidas con el modelo propuesto, así como también de escenarios adicionales, los cuales permitirán examinar la variación en los resultados al modificar parámetros del modelo propuesto.

**f. Conclusiones y recomendaciones.**



ASESOR

# ÍNDICE

Introducción .....	1
Capítulo 1: Marco Teórico .....	2
1.1.    Conceptos Generales .....	2
1.1.1.    Cadena de Suministro .....	2
1.1.2.    Cadena de Suministro Humanitaria .....	2
1.1.3.    Logística .....	2
1.1.4.    Desastre .....	3
1.1.5.    Helada .....	3
1.1.6.    Friaje.....	4
1.1.7.    Riesgo de Desastre .....	4
1.1.8.    Resiliencia.....	5
1.2.    La Administración de la Cadena de Suministro Humanitaria.....	6
1.2.1.    Características Generales .....	6
1.2.2.    Flujos Principales .....	7
1.2.3.    Actores Frecuentes .....	9
1.2.4.    Áreas de Acción de la Cadena de Suministro Humanitaria.....	10
1.3.    La Gestión de Riesgo de Desastres .....	12
1.3.1.    Fases de la Gestión de Riesgo de Desastres .....	13
1.3.2.    Sujetos de Protección.....	14
1.3.3.    Indicadores de la Gestión de Riesgo de Desastres .....	14
1.4.    La Investigación de Operaciones .....	16
1.4.1.    La Programación Lineal.....	17
1.4.2.    Programación Entera .....	22
1.5.    Análisis de Clusters.....	23
1.5.1.    Clasificación Típica .....	24
1.5.2.    Determinación del Número Óptimo de Clústeres .....	26
Capítulo 2: Estudio de Casos .....	29
2.1.    Localización y Distribución de Bienes ante Terremotos .....	29
2.1.1.    Optimización Robusta .....	29
2.1.2.    Programación Comprometida.....	33
2.1.3.    Resultados Obtenidos .....	34
2.2.    Métodos de Clustering para Determinar Regiones por Tipos de Desastres.....	36
2.2.1.    Método K-medias .....	36
2.2.2.    Resultados Obtenidos .....	37
Capítulo 3: Análisis de la Situación Actual en el Perú .....	39
3.1.    Aspectos del Plan Multisectorial ante Heladas y Friajes .....	39
3.2.    Metodología.....	40
3.2.1.    Recopilación de la información disponible .....	40
3.2.2.    Análisis de la información recopilada.....	41
3.2.3.    Identificación y caracterización del fenómeno .....	41
3.2.4.    Análisis de susceptibilidad.....	42



3.2.5.	Análisis de elementos expuestos.....	43
3.2.6.	Identificación de escenarios de riesgo de bajas temperaturas.....	46
3.3.	Rol de Actividades de Entidades Participantes .....	46
3.3.1.	Ministerio de la Mujer y Poblaciones Vulnerables (MIMP) .....	46
3.3.2.	Ministerio de Educación (MINEDU) .....	47
3.3.3.	Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) .....	48
3.3.4.	Ministerio de Salud (MINSA) .....	50
3.3.5.	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS).....	50
3.3.6.	Ministerio de Energía y Minas (MINEM).....	51
3.3.7.	Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC).....	51
3.3.8.	Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social (MIDIS).....	51
3.3.9.	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAHMI).....	53
3.3.10.	Oficina Nacional de Gobierno Interior (ONAGI).....	53
3.4.	Evolución de los Principales Indicadores .....	54
3.4.1.	Ocurrencia de Eventos de Bajas Temperaturas .....	54
3.4.2.	Distribución de los Casos de Neumonía por Grupos de Edades .....	54
3.4.3.	Población Total de los Grupos Priorizados .....	55
3.4.4.	Tasa de Incidencia Acumulada de Neumonía en Niños Menores a 5 Años ..	56
3.4.5.	Tasa de Mortalidad por Neumonía en Niños Menores a Cinco Años .....	57
3.4.6.	Índice de Pobreza .....	57
3.4.7.	Departamentos con Mayor Índice de Pobreza .....	58
3.4.8.	Tasa de Desnutrición Crónica en Niños Menores a Cinco Años .....	58
3.4.9.	Tasa de Analfabetismo.....	59
3.4.10.	Cantidad de Personas Afectadas y Damnificadas .....	59
3.4.11.	Viviendas y Hectáreas Afectadas y Destruídas .....	60
3.4.12.	Departamentos más Afectados.....	61
Capítulo 4:	Modelos y Algoritmos Propuestos.....	62
4.1.	Preprocesamiento de Data y Clustering .....	62
4.1.1.	Revisión de Variables Utilizadas en el Plan Actual.....	63
4.1.2.	Selección de Variables para el Modelo .....	65
4.1.3.	Aplicación de Algoritmos de Clustering.....	66
4.1.4.	Selección de clústeres críticos.....	72
4.2.	Modelo de Programación Lineal .....	77
4.2.1.	Descripción del Modelo .....	77
4.2.2.	Supuestos .....	78
4.2.3.	Formulación .....	80
Capítulo 5:	Análisis de Resultados .....	82
5.1.	Resultados del Escenario Inicial Propuesto .....	82
5.2.	Resultados de los Escenarios de Simulación .....	86
Capítulo 6:	Conclusiones y Recomendaciones .....	89
6.1.	Conclusiones .....	89
6.2.	Recomendaciones .....	90
Bibliografía.....		92

Anexos.....	100
Anexo 1: Rango de Temperaturas Mínima en los Distritos Afectados por Heladas .....	100
Anexo 2: Rango de Temperaturas Mínima en los Distritos Afectados por Friajes.....	101
Anexo 3: Mapa de Distribución de Índice de Daños a la Salud en Distritos Afectados por Heladas y Friajes.....	102
Anexo 4: Mapa de Distribución de Índice de Material Predominante en las Viviendas en Distritos Afectados por Heladas y Friajes .....	103
Anexo 5: Mapa de Distribución de Porcentaje de Instituciones Educativas con Escasa Capacitación Docente en Distritos Afectados por Heladas y Friajes .....	104
Anexo 6: Mapa de Distribución de Incidencia de la Pobreza en Distritos Afectados por Heladas y Friajes.....	105
Anexo 7: Mapa de Distribución de Índice de Desnutrición Crónica en Distritos Afectados por Heladas y Friajes.....	106
Anexo 8: Mapa de Distribución de la Tasa de Desnutrición en Distritos Afectados por Heladas y Friajes.....	107
Anexo 9: Mapa de Distritos Priorizados para el Plan Multisectorial ante Heladas y Friajes 2017	108
Anexo 10: Listado de Distritos Priorizados 2017 según el Plan Multisectorial Ante Heladas y Friajes.....	109
Anexo 11: Índice de Pobreza de Departamentos Estadísticamente Semejantes (2007-2016)	115
Anexo 12: Cantidad Total de Kits a Repartir (Escenario Inicial) .....	117
Anexo 13: Localización de Almacenes y Porcentaje de Ocupación para el Escenario Inicial	125

## Índice de Figuras

Figura 1: Escenario de enfriamiento que favorece la formación de heladas .....	4
Figura 2: Modelo Conceptual de Friaie en Baja Tropósfera.....	4
Figura 3: Elementos del Riesgo de desastres naturales.....	5
Figura 4: Interacción entre actores de la cadena de suministro humanitaria.....	10
Figura 5: Áreas comprendidas en la cadena de suministro humanitaria .....	10
Figura 6: Dendrograma formado por tres clusteres .....	24
Figura 7: Función Objetivo 1.....	32
Figura 8: Función Objetivo 2.....	32
Figura 9: Función Objetivo 3 obtenida con la métrica LP.....	33
Figura 10: Distribución geográfica de los clústeres en el estado de Santa Catarina .....	37
Figura 11: Variación de temperatura según latitud .....	43
Figura 12: Distritos afectados por heladas y friajes (2017) .....	63
Figura 13: Mapa de la partición óptima elegida.....	71
Figura 14: Mapa de densidad poblacional de los distritos afectados por heladas y friajes ...	76
Figura 15: Mapa de los clústeres críticos seleccionados.....	77



# Índice de Gráficos

Gráfico 1: Representación del conjunto factible F .....	19
Gráfico 2: Costo Total vs Número de centros de distribución por abrir .....	34
Gráfico 3: Falta de bienes vs Número de centros de distribución por abrir .....	35
Gráfico 4: Análisis de sensibilidad de w .....	35
Gráfico 5: Costo total por modelo en todos los escenarios.....	36
Gráfico 6: Diagrama de Flujo para la Determinación de Escenarios de Riesgo por Bajas Temperaturas.....	40
Gráfico 7: Distribución de los episodios de neumonía por rango de edades (2008 – 2016) ..55	55
Gráfico 8: Población Total de Niños de 0 – 4 años (2008 – 2016) .....	55
Gráfico 9: Población Total de Adultos mayores a 60 años (2008 – 2016).....	56
Gráfico 10: Tasa de Incidencia Acumulada de Neumonía por cada 10 mil en niños menores a 5 años (2000-2014) .....	56
Gráfico 11: Tasa de mortalidad por neumonía por cada 10 mil en niños menores a cinco años.....	57
Gráfico 12: Índice de incidencia de pobreza 2007-2016.....	57
Gráfico 13: Tasa de desnutrición crónica en niños menores a cinco años 2009 - 2016 .....	58
Gráfico 14: Tasa de analfabetismo en mayores a 15 años (2005 – 2015) .....	59
Gráfico 15: Cantidad de personas afectadas y damnificadas por bajas temperaturas (2003-2015) .....	59
Gráfico 16: Cantidad de Eventos de Bajas Temperaturas (2003 – 2015) .....	60
Gráfico 17: Departamentos con población más afectada por bajas temperaturas 2003 - 2015 .....	61
Gráfico 18: Variables obtenidas a partir de otros indicadores en el Plan Multisectorial 2017.....	64
Gráfico 19: Índice de Dunn para Clustering K-mediodes según número de clústeres .....	69
Gráfico 20: Valor y Variación del Índice de Dunn para Clustering Jerárquico Aglomerativo según número de clústeres .....	70
Gráfico 21: Valor y Variación del Índice de Dunn para Clustering Jerárquico Divisivo según número de clústeres.....	70
Gráfico 22: Distribución de distritos afectados por friajes según rango de temperatura por clúster .....	72
Gráfico 23: Distribución de distritos afectados por friajes según clúster por rangos de temperatura .....	73
Gráfico 24: Distribución de distritos afectados por heladas según rangos de temperatura por clúster .....	74
Gráfico 25: Distribución de distritos afectados por heladas según clúster por rangos de temperatura .....	75
Gráfico 26: Cantidad de almacenes propuestos por departamento .....	83
Gráfico 27: Kits según el porcentaje de volumen total distribuido .....	83
Gráfico 28: Distribución del Volumen de Kits en Almacenes Resultantes .....	84
Gráfico 29: Costos Totales y Cantidad de Almacenes según Escenario Propuesto .....	87
Gráfico 30: Volumen por Distribuir y Porcentaje de Ocupación por Escenario Propuesto .....	87
Gráfico 31: Variación de la Cantidad de Almacenes por Departamento por Escenario Propuesto .....	88

## Índice de Tablas

Tabla 1: Indicadores de identificación de riesgo.....	15
Tabla 2: Indicadores de reducción del riesgo .....	15
Tabla 3: Indicadores para la gestión de desastres .....	15
Tabla 4: Indicadores para la protección gubernamental y financiera .....	16
Tabla 5: Notación de formas estándar y canónica.....	20
Tabla 6: Ocurrencia de desastres y cantidad de distritos afectados por clúster .....	38
Tabla 7: Distribución de bienes por clúster .....	38
Tabla 8: Demanda de Tipos de Kits de Abrigo .....	47
Tabla 9: Aulas prefabricadas y pararrayos designados en los distritos priorizados .....	48
Tabla 10: Ocurrencia de desastres en el Perú (2003 – 2015).....	54
Tabla 11: Tabla de viviendas y hectáreas afectadas y destruidas por bajas temperaturas 2003 - 2015.....	60
Tabla 12: Variables utilizadas para el cálculo del Nivel de Riesgo por sector .....	64
Tabla 13: Variables a analizar para el clustering.....	65
Tabla 14: Asignación del valor de similitud para variables binarias.....	67
Tabla 15: Resumen de resultados óptimos de los métodos de clustering aplicados .....	71
Tabla 16: Kits a repartir a la población afectada .....	78
Tabla 17: Cálculo de la demanda de los kits 1, 2 y 3.....	79
Tabla 18: División de kits 4, 5 y 6 según tipo de productor.....	80
Tabla 19: Resultados del modelo ante distintas capacidades de almacén.....	82
Tabla 20: Costo de almacenes en un periodo de 20 años.....	82
Tabla 21: Comparación de indicadores de atención entre escenarios .....	85
Tabla 22: Comparación Económica entre Escenarios.....	86
Tabla 23: Cantidad de Kits a Repartir por Escenario.....	86



## Introducción

El Perú es un país afectado por numerosos eventos naturales y climatológicos tales como terremotos, inundaciones, sequías, heladas, friajes, entre otros. De los desastres antes mencionados, las heladas y friajes son algunos de los que se manifiestan de forma estacional, lo cual reduce la incertidumbre asociada a su ocurrencia en un determinado periodo; es decir, resultan más predecibles. Por este motivo, es que en la presente investigación se plantea la hipótesis de que la cadena de suministro humanitaria relacionada a estos eventos puede ser mejorada. En específico, se busca mejorar la localización de los almacenes que atienden a los distritos afectados por heladas y friajes.

Para comprobar la hipótesis planteada, la investigación se compone de la siguiente manera: primero, se presenta el Marco Teórico en el cual se abordarán los conceptos relacionados a la Cadena de Suministro Humanitaria, Gestión de Riesgo de Desastres, Investigación Operativa y Análisis de Clústeres. Estos temas representan la base sobre la cual se implementará la propuesta de mejora.

Segundo, se expone el capítulo de Estudio de Casos en el cual se exhiben investigaciones en las que se utilizan herramientas pertenecientes a los temas expuestos en el marco teórico en escenarios reales con resultados satisfactorios. Dichos trabajos involucran casos propios de la logística humanitaria al igual que la presente investigación.

Tercero, se procede a un Análisis de la Situación Actual en el Perú, el cual involucra los efectos de estos desastres en la población afectada y las medidas que se han implementado por parte del Gobierno para afrontar estos eventos naturales.

Cuarto, se introducen los Modelos y Algoritmos Propuestos para la alternativa de mejora que se desea presentar en la investigación y que abarcan tanto la metodología a seguir para la clasificación por clustering como para la formulación del modelo de programación lineal.

Quinto, se presenta el Análisis de Resultados del escenario inicial propuesto, así como de otros escenarios en los que varía la demanda de kits de ayuda humanitaria. Dichos resultados son comparados con la situación actual y se comprueba si efectivamente se produce un aumento en la eficiencia.

Finalmente, se recalcan las conclusiones y recomendaciones que representan un punto de partida para que el presente trabajo pueda ser mejorado aún más.

# **Capítulo 1: Marco Teórico**

En el presente capítulo, se describirán los conceptos y términos relacionados a los temas tratados en el trabajo de investigación y que serán de utilidad para el desarrollo del modelo matemático o algoritmos que se planean emplear.

## **1.1. Conceptos Generales**

Antes de profundizar en términos y descripciones detalladas sobre las áreas de estudios que abarca esta investigación, es preciso definir y concebir algunos conceptos importantes como los siguientes:

### **1.1.1. Cadena de Suministro**

Según Aitken (2008), la cadena de suministro se define como una red compleja interconectada e independiente de organizaciones, empresas e instituciones que trabajan conjuntamente para controlar, gestionar y mejorar el flujo de materiales e información de los proveedores hasta los clientes, principalmente, mediante la transformación de materia prima en productos demandados por la población y su posterior distribución al alcance de los usuarios finales. Las actividades de una cadena de suministro pueden involucrar a proveedores, pequeños centros manufactureros, fábricas, centros de distribución, almacenes, entre otros; por ello, los ámbitos y el grado de complejidad en los que se desempeña pueden alcanzar niveles muy elevados (Ghiani, Laporte & Musmanno, 2004).

### **1.1.2. Cadena de Suministro Humanitaria**

La Cadena de Suministro Humanitaria es un sistema que comprende las actividades de alivio y ayuda ante desastres, los programas de desarrollo relacionados a ellas y a todos los participantes que interactúan en los flujos de materiales físicos, información y recursos financieros asociados a las labores mencionadas (Haavisto & Kovács, 2014). Este tipo de cadena trabaja en escenarios de urgencia y de gran incertidumbre; por lo tanto, entre sus principales características se encuentran su agilidad y su alta capacidad de adaptabilidad para que puedan cumplir sus objetivos: salvar vidas, disminuir el sufrimiento humano y contribuir al desarrollo (Beamon & Balcik, 2008).

### **1.1.3. Logística**

La logística es considerada la actividad encargada de administrar la adquisición, movimiento y almacenamiento de materias primas, productos finales y demás elementos que forman parte del inventario de una organización, así como los flujos de información asociados a ellos, de manera que el cumplimiento económico de los

pedidos sea alcanzado satisfactoriamente y la ganancia futura se maximice (Christopher, 2016).

#### **1.1.4. Desastre**

De acuerdo con la UNISDR (2009), un desastre es considerado un quiebre severo en el funcionamiento de una sociedad debido a sucesos de gran peligrosidad que interactúan con condiciones de exposición, vulnerabilidad y capacidad. A causa de ello, se producen impactos negativos o pérdidas humanas, materiales, ambientales y económicas.

Según lo planteado por Smith (2006), no existen los desastres naturales. Entre sus argumentos, indica que un evento es considerado desastre principalmente por el lugar de ocurrencia. Un evento natural de gran poder destructivo que ocurre en un lugar inhóspito no es clasificado como desastre; sin embargo, si se hubiese manifestado en una ciudad concurrida, sí se hubiera denominado como tal. Asimismo, destaca que, en la actualidad, la actividad humana tiene fuerte influencia en sucesos naturales, en específico, en eventos climatológicos. El calentamiento global ocasionado por las actividades industriales del hombre ha aumentado la intensidad de eventos climatológicos, lo que demuestra que los desastres antes denominados naturales en realidad tienen una gran influencia social detrás de ellos.

Instituciones expertas en este ámbito concuerdan con lo expuesto por Smith (2006) como la UNISDR, que manifiesta que no hay desastres naturales, solo peligros naturales (UNISDR, s.f.).

#### **1.1.5. Helada**

Una helada se describe como el fenómeno climático en el que la temperatura del aire cercana a la superficie de los terrenos alcanza 0 °C o menos, tras lo cual, se forman cristales de hielo por la congelación del rocío o los cambios de fase de vapor de agua a hielo (Snyder & Melo-Abreu, 2005). El descenso de la temperatura del aire se debe por la incursión de masas de aire frío y seco a gran altitud, lo que ocasiona una disminución de las nubosidades y la incapacidad de la regulación de la temperatura ambiental (Guadalupe, 2007).



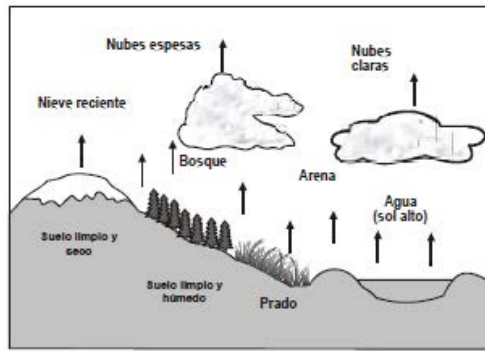


Figura 1: Escenario de enfriamiento que favorece la formación de heladas

Fuente: Guadalupe (2007)

### 1.1.6. Friaie

Los friajes son eventos meteorológicos que se generan debido a la penetración de masas de aire polares en las zonas de la región selva del país, principalmente, lo que ocasiona un descenso repentino de la temperatura alcanzando aproximadamente los 15 °C en pocas horas, intensificación de los vientos y aumento de la presión atmosférica (Quispe, 2006).

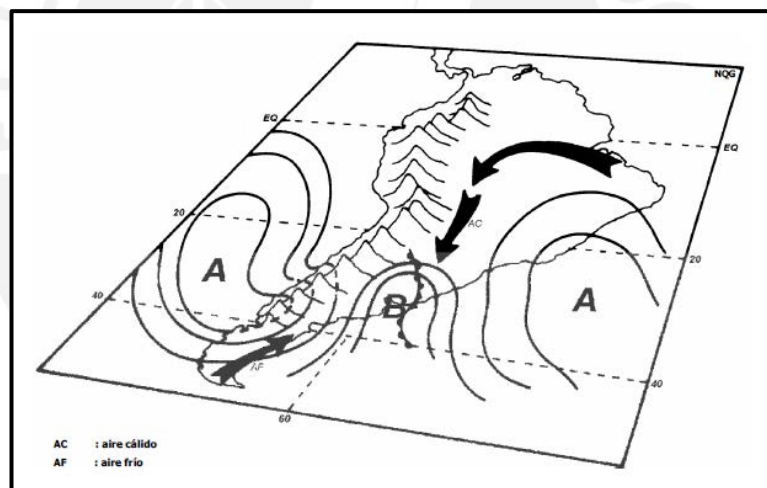


Figura 2: Modelo Conceptual de Friaie en Baja Tropósfera

Fuente: Quispe (2006)

### 1.1.7. Riesgo de Desastre

La UNISDR (2009) concibe al riesgo de desastre como la potencial pérdida de la vida, generación de daños o lesiones a los bienes tangibles que pueden suceder en una sociedad en un periodo específico.

Según Zhang, Okada y Tatano (2006) esta definición es representada a través de los siguientes factores: en primer lugar, peligro, suceso natural que afecta la vida de las personas o su actividad cotidiana al extremo de que ocasione un desastre de cierto grado de probabilidad y severidad. En segundo lugar, exposición, representa la

cantidad de personas, valor de la infraestructuras, materiales y actividades que pueden ser afectadas por un peligro. En tercer lugar, vulnerabilidad, concepto relacionado a la capacidad de resistencia ante un peligro de la población o del objeto de estudio, como edificaciones o materiales específicos, y que ayuda a medir el grado de pérdidas que se puede generar ante un desastre. Finalmente, respuesta ante emergencias y capacidad de recuperación, conjunto de procedimientos, operaciones y actividades administradas por autoridades y organizaciones afines orientadas a la correcta gestión de desastres naturales.

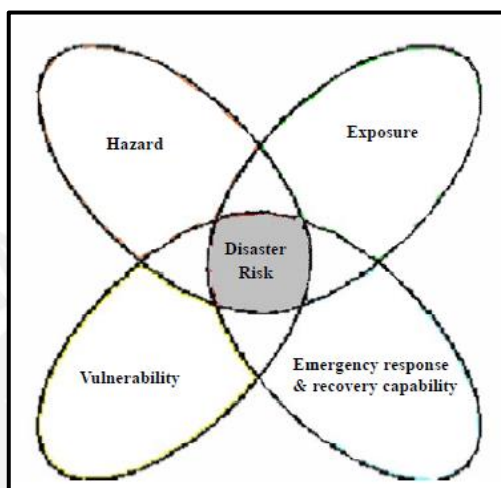


Figura 3: Elementos del Riesgo de desastres naturales  
Fuente: Zhang et al. (2006)

De esta manera, el riesgo de desastres se puede concebir como función de los factores descritos anteriormente:

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

Ante esta formulación, se deduce que la relación entre las variables es directamente proporcional; es decir, si un factor incrementa, el otro también. Por ello, es imperativo controlar las medidas de prevención y respuesta para que el riesgo sea el menor posible.

#### 1.1.8. Resiliencia

Si bien la resiliencia es un concepto que surgió en el campo de la ecología, su uso en diferentes áreas de estudio se diversificó; por ende, este término puede referirse a distintos elementos y situaciones según cada caso (Zhou, Wan & Jia, 2010). En el contexto de la Gestión de Desastres, la resiliencia de una localidad se explica como la capacidad de afrontar un desastre natural con los recursos actuales sin sufrir grandes daños estructurales, pérdidas materiales y humanas, disminución de la

productividad de las actividades o de la calidad de vida de las personas y sin recurrir a una ayuda masiva externa (Milleti, 1999).

## **1.2. La Administración de la Cadena de Suministro Humanitaria**

Se define la administración de la cadena de suministro humanitaria como un sistema amplio, cuyas responsabilidades se pueden dividir en tres partes: en primer lugar, el diseño, ejecución y administración de procesos pertinentes para afrontar efectivamente las emergencias actuales y futuras que se puedan presentar. En segundo lugar, gestionar la adecuada coordinación e interacción entre los distintos procesos y actividades adicionales que puedan resultar complementarios o pertinentes a los establecidos en la cadena de suministro; así como también, integrar y organizar las tareas y labores con otros actores que surgen ante un desastre y que forman parte del sistema. Finalmente, monitorear y evaluar la labor de los miembros que integran la cadena de suministro, el cumplimiento de los objetivos planteados y el rastreo de las salidas del sistema para verificar la eficiencia de la operatividad (Day, Melnyk, Larson, Davis & Whybark, 2012).

Dentro de los distintos tipos de cadenas de suministro existentes, la humanitaria es considerada como la más compleja entre ellas por algunos autores, debido a que se encarga de la atención a eventos y situaciones impredecibles en su gran mayoría, cuyas consecuencias y efectos pueden resultar catastróficos para la población de una región (Hughes, 2009).

En las siguientes secciones, se detallará más sobre la naturaleza de la cadena de suministro humanitaria, sus principales aspectos y componentes, los cuales deben ser considerados para que se puedan manejar de manera eficiente y poder cumplir el tan importante objetivo de ayudar a quienes más lo necesitan en el contexto de una emergencia.

### **1.2.1. Características Generales**

Como se mencionó anteriormente, las cadenas de suministro humanitarias difieren en varios aspectos de las comerciales o tradicionales, por lo cual se describirán algunas características propias de este tipo de cadenas que resultan de mayor consideración (Tomasini & Van Wassenhove, 2009).

- **Objetivos ambiguos:** La falta de ganancias monetarias para los participantes en la cadena de suministro humanitaria ocasiona que no todos muestren el mismo interés o compromiso en las actividades que se realizan, lo que deriva en una comunicación y coordinación defectuosa que puede tener repercusiones graves en las labores principales.

- Disponibilidad de recursos limitada: Esta puede variar dependiendo del tipo de recurso que se esté tratando. Los principales recursos son los siguientes:
  - Personas: La problemática primordial es que no se cuenta con la cantidad adecuada de personal calificado para afrontar las labores encargadas.
  - Capital: La liquidez y la disponibilidad de dinero en el momento correcto son grandes inconvenientes para los administradores y actores de la cadena de suministro humanitaria. Debido a que el dinero proviene, principalmente, de donaciones resulta complicado mantener una cantidad ahorrada suficiente como para afrontar inmediatamente una emergencia.
  - Infraestructura: Generalmente, las edificaciones dispuestas para las operaciones relacionadas a la Gestión de Desastres suelen ser insuficientes para manejar desastres de grandes magnitudes que generan demandas muy altas o resultan dañadas por la misma emergencia.
- Alto grado de incertidumbre: En cada desastre, existe una gran variabilidad relacionada a la demanda y aspectos relacionados a los actores presentes en la cadena, por ejemplo, la calidad del trabajo de las personas y voluntarios que participarán, así como su nivel de compromiso con la causa.
- Urgencia: Debido a la gravedad de las consecuencias que genera un desastre, las acciones a realizar por los miembros de la cadena de suministro deben tener un carácter urgente; es decir, habrá una gran cantidad de actividades y tareas por realizar de la manera más rápida posible, lo cual se ve afectado por la disponibilidad de recursos para llevarlas a cabo.
- Ambientes politizados: La imposibilidad de que los involucrados en actividades propias de la cadena de suministro humanitaria puedan desempeñarse sin grandes restricciones por parte del Estado en momentos de urgencia es una problemática que ralentiza enormemente el suministro y la distribución principalmente.

### **1.2.2. Flujos Principales**

A diferencia de las demás, la cadena de suministro humanitaria, de acuerdo con Tomasini y Van Wassenhove (2009), presenta cinco tipos de flujos, los cuales son conocidos como las 5 B's:

- Material ("Boxes"): Se refiere al flujo de bienes que se mantiene entre los proveedores y los consumidores, en este caso, las organizaciones, organismos y

agrupaciones que se encargan de distribuir la ayuda humanitaria y la población afectada por el desastre.

- Información (“Bytes”): Formado por las órdenes y pedidos que permiten la coordinación entre el flujo físico de materiales.
- Financiero (“Bucks”): Conformado por los acuerdos de pagos, créditos y demás desembolsos establecidos entre los actores de la cadena.
- Personas (“Bodies”): Representado por todos los voluntarios y miembros de las organizaciones que participan en las actividades de la cadena de suministro humanitaria.
- Conocimiento y habilidades (“Brains”): Se refiere al conjunto de habilidades que se requieren para afrontar las distintas etapas del tipo de desastre que ocurrió. Debido a que las condiciones en las que se desarrolla un desastre suelen ser únicas, este flujo resulta muy cambiante.

Es importante mantener una coordinación óptima entre todos los flujos de la cadena para evitar roturas que afecten el suministro y debiliten la capacidad de respuesta, ya que, ante una falla en uno de los eslabones de la cadena, la salud de muchas personas puede resultar perjudicada.

Para que este tipo de situaciones no sucedan, Tomasini y Van Wassenhove (2009) argumentan que es deseable que la cadena de suministro cumpla con el enfoque de las tres A's, las cuales serán descritas a continuación:

- Agilidad: Es la capacidad de respuesta rápida ante eventos que afecten a las actividades de la cadena de suministro. Esta es una característica muy relacionada a la eficiencia en la logística humanitaria, pues, debido al carácter impredecible y devastador de los desastres, se requiere que las labores se cumplan rápida y adecuadamente.
- Adaptabilidad: Esta característica se refiere al grado de ajuste que pueda tener la cadena de suministro humanitaria ante los distintos tipos de desastres que puedan acontecer en un determinado territorio. Esto puede implicar la modificación de las estrategias que usan, la relación entre los agentes que la componen, el uso de tecnología apropiada, entre otros aspectos relativos a su diseño.
- Alineamiento: Esta cualidad puede resultar complicada para adecuar a las cadenas de suministro humanitarias, puesto que requiere que el flujo de

información entre los distintos agentes que participan sea el ideal para que se pueda crear entre ellos un sentido de unión que facilita el cumplimiento de los objetivos trazados. Esto se presenta como una complejidad, a causa de que durante una emergencia resulta difícil mantenerse actualizado de todos los acontecimientos y encontrar canales de comunicación para transmitir información a los demás colaboradores de la cadena.

### **1.2.3. Actores Frecuentes**

Según Cozzolino (2012), las compañías y organizaciones que, frecuentemente, forman parte de la cadena de suministro humanitaria se encuentran dentro las siguientes categorías:

- **Gobierno:** Ente encargado de autorizar y permitir la movilización de recursos y de los demás actores involucrados en las labores de respuesta una vez que ocurre un desastre. Asimismo, es el responsable de mantener acuerdos internacionales con otras organizaciones privadas o estatales que brindan ayuda en situaciones de emergencias.
- **Milicia:** La participación de la milicia ante la ocurrencia de un desastre se fundamenta en el hecho de que las capacidades y habilidades de sus miembros pueden ser de gran utilidad en estas situaciones, por ejemplo, para reparación de rutas dañadas, instalación de hospitales temporales y campamentos, entre otros.
- **Agencias de ayuda:** Instituciones que operan libremente sin la necesidad de la autorización o permiso de los gobiernos. Se encargan de brindar ayuda ante la ocurrencia de algún desastre o emergencia.
- **Donadores:** Personas, compañías u organizaciones que prestan servicios o entregan dinero o bienes para apoyar a las operaciones humanitarias sin ningún costo de por medio.
- **Organizaciones no gubernamentales:** Formado por organizaciones que se encargan de dar soporte a determinadas crisis o grandes problemáticas humanas como la pobreza o el acceso a la educación.
- **Empresas privadas:** La participación de las empresas del sector privado ocurre, ya que estas percibieron que los daños causados por los desastres significaban grandes pérdidas para ellos en cuanto la población afectada no podría consumir sus productos o utilizar sus servicios. Por ello, intentan restablecer el flujo normal de su negocio al proveer cualquier tipo de ayuda como tecnología útil durante los desastres o brindar soporte logístico. Además, estas empresas pueden tener

alguno de los siguientes roles de participación: donadores, aportan ayuda monetaria para que se realicen las operaciones; recolectores, las cuales son responsables de recaudar fondos de sus empleados; y proveedores, empresas que brindan un servicio o bienes de utilidad de manera gratuita para los afectados.

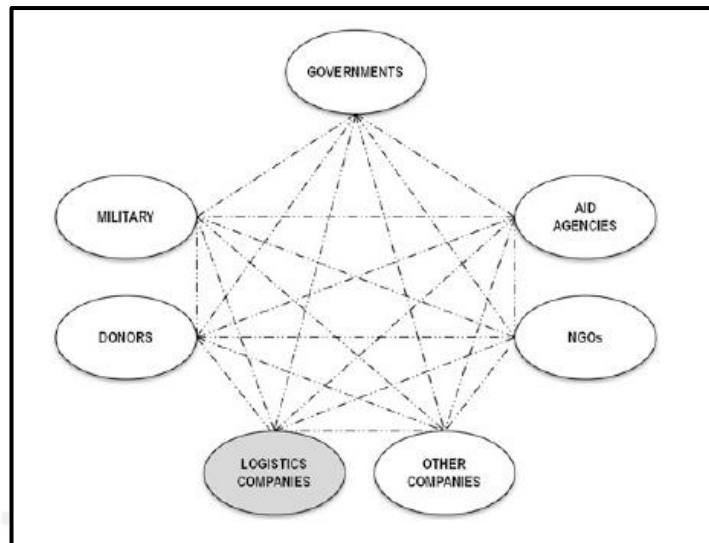


Figura 4: Interacción entre actores de la cadena de suministro humanitaria

Fuente: Cozzolino (2012)

En la Figura 4, se muestran los actores antes mencionados, con la diferencia que se dividió a las empresas privadas en compañías logísticas y otras para ampliar el universo de participantes en la cadena de suministro humanitaria.

#### 1.2.4. Áreas de Acción de la Cadena de Suministro Humanitaria

A pesar de que la cadena de suministro humanitaria se diferencia de los demás tipos de cadenas, estas comparten las mismas áreas de acción y, en gran parte, varias de las actividades que en ellas se realizan. Por ello, a continuación, se presentarán las áreas de las que se hizo mención y las actividades propias de la cadena de suministro humanitaria que Vojvodic, Dujak y Plazibat (2015) exponen:

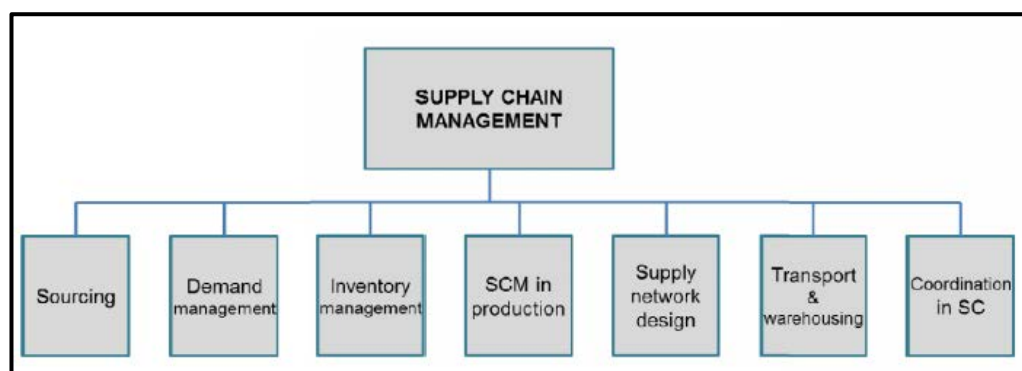


Figura 5: Áreas comprendidas en la cadena de suministro humanitaria

Fuente: Vojvodic et al. (2015)

- **Abastecimiento:** Dentro de esta área, es importante la compra de recursos y bienes, la cual debe considerar el tiempo en el que se realiza la adquisición y la ubicación de los proveedores. En el caso de las cadenas de suministro humanitaria, el abastecimiento se encuentra limitado por muchos factores como “lead times” impredecibles o limitados proveedores (Tomasini & Van Wassenhove, 2009).
- **Gestión de la demanda:** De acuerdo con Ertem y Buyurgan (2013) debido a que en las cadenas de suministro humanitaria no hay demanda hasta que un desastre ocurre, no es posible realizar las actividades normalmente ligadas a esta área (planeamiento y pronóstico de la demanda, planeamiento del suministro en concordancia con la demanda e influencia colaborativa en la demanda y el suministro). Por eso, es que, usualmente, lo que se hace es estudiar de desastres pasados para aprender cómo actuar de la mejor manera posible en caso un desastre del mismo tipo ocurra en el futuro.
- **Gestión de inventarios:** Los inventarios en la cadena de suministro humanitaria afrontan problemáticas como demanda con gran incertidumbre, identificación locaciones cercanas a las potenciales zonas afectadas, vencimiento de los productos, entre otros. Asimismo, se sugiere que el control de inventarios se realice en el lugar de los acontecimientos, de manera que se pueda estimar las necesidades a corto plazo (Whybark, 2007).
- **Administración de cadenas de suministro en producción:** Se refiere a todas las actividades de monitoreo que se realizan para mantener contacto con los diferentes agentes participantes en caso haya un inconveniente en la realización de sus tareas (Whybark, 2007).
- **Diseño de la red de suministro:** Las labores de esta área se relacionan estrechamente con las llevadas a cabo en la administración de inventarios, puesto que su principal objetivo es la determinación de la cantidad y la localización de los almacenes, así como la capacidad de cada uno de ellos. Para cumplir esto, algunos de los factores importantes a considerar son la estabilidad política nacional, la cooperación gubernamental para la construcción de los almacenes y los costos logísticos asociados (Roh, Jang & Han, 2013).
- **Transporte y almacenamiento:** Esta área también se relaciona fuertemente con el diseño de la red de suministro y el abastecimiento, ya que la selección adecuada de los transportes a utilizar para distribuir los bienes se realiza considerando los recursos que se transportarán, las distancias a recorrer y el



costo logístico de la operación. En cuanto a los almacenes, se debe considerar para su construcción las mismas restricciones que se mencionaron en el diseño de la red de suministro (Vojvodic et al., 2015).

- Coordinación en la cadena de suministro: Resulta de suma importancia una coordinación y colaboración eficiente entre los agentes que conforman las cadenas de suministro humanitarias, puesto que estas buenas prácticas ayudan a reducir costos innecesarios, acelerar el flujo de materiales y mantener un nivel óptimo de inventarios. A pesar de que puede surgir una gran variedad de obstáculos luego de un desastre que dificulten la comunicación y coordinación, las cadenas de suministro humanitarias presentan la ventaja de que no hay competencia negativa como en el caso de las cadenas comerciales. Esto implica que si los demás agentes de la cadena se encuentran realmente comprometidos con sus labores, el trabajo en conjunto, con certeza, aumentará la velocidad con la que se brindará la ayuda (Vojvodic et al., 2015).

### **1.3. La Gestión de Riesgo de Desastres**

Según Ranke (2016), la Gestión de Riesgo de Desastres es uno de los tres pilares que componen la “Trinidad del Riesgo”, la cual es completada por la evaluación de riesgos y el riesgo comunicacional. El principal aporte de adoptar una visión en base a la Trinidad del Riesgo es que permite desvanecer los límites existentes entre cada uno de los pilares con el objetivo de que los recursos, habilidades, capacidades y personas que exclusivamente participan en una de las áreas puedan aportar su experiencia y punto de vista para poder mejorar en toda la labor relacionada con los riesgos presentes en los desastres.

De esta manera, la Gestión de Riesgo de Desastre, de acuerdo a lo estipulado por el INDECI (2009), se define como el conjunto de decisiones administrativas, de organización y conocimientos operacionales desarrollados por sociedades y comunidades para implementar políticas y estrategias, y para fortalecer sus capacidades, con el fin de reducir el impacto de amenazas naturales y de desastres ambientales y tecnológicos. Asimismo, el INDECI (2009) identifica tres tipos de Gestión de Desastres:

- Gestión Prospectiva: Aquella que reduce la posibilidad de la generación de condiciones de vulnerabilidad.
- Gestión Correctiva: Este tipo de gestión apunta a minimizar las situaciones de riesgo y vulnerabilidad existentes en el presente.

- **Gestión Reactiva:** Se refiere a aquella enfocada en desplegar los recursos y realizar las actividades adecuadas para responder de manera eficiente a las situaciones de desastre.

### **1.3.1. Fases de la Gestión de Riesgo de Desastres**

El INDECI (2009) identifica cuatro fases en el proceso de la Gestión de Desastres para el Sistema Nacional de Defensa Civil (SINADECI):

- **Estimación del riesgo:** Serie de estudios y procedimientos que se realizan en un centro poblado en específico con el objetivo de recolectar información para identificar los posibles peligros naturales o tecnológicos y realizar un cálculo aproximado a los riesgos asociados a los peligros descubiertos.
- **Reducción del riesgo:** Esta etapa engloba las siguientes acciones:
  - **Prevención:** Actividades orientadas a brindar protección permanente a los poblados que son afectados por peligros y desastres previamente identificados. Algunas de las acciones que se pueden realizar son el reforzamiento de costas ribereñas, ordenamiento urbano, entre otras.
  - **Reducción de la vulnerabilidad:** Se describe como la planificación de actividades ante emergencias como la realización de simulacros de evacuación o el establecimiento de alertas.
  - **Preparación:** Conjunto de medidas realizadas anticipadamente para proporcionar una respuesta rápida y eficiente ante la ocurrencia de desastres y peligros.
- **Respuesta:** Sucesión de medidas y procedimientos desplegados una vez que ocurrió un desastre con el fin de mitigar las consecuencias producidas por este e intentar normalizar las actividades en la zona afectada. Entre las acciones que se realizan, están la entrega de kits de emergencia, la rehabilitación de los servicios básicos de la comunidad, entre otros.
- **Reconstrucción:** Conjunto de actividades encaminadas a la recuperación de las zonas afectadas por el desastre o emergencia e intentar, en la medida de lo posible, reestablecer la situación existente antes del desastre, por lo cual se debe considerar las medidas de prevención y mitigación establecidas. Además, se recomienda anotar las lecciones se aprendieron y las eventualidades nuevas experimentadas en la emergencia con el objetivo de mejorar la Gestión de Desastres.

### **1.3.2. Sujetos de Protección**

Ante la ocurrencia de un desastre o emergencia, el estado presenta prioridades, las cuales son seleccionadas para que sean protegidas y reciban mayor atención y ayuda ante los efectos de eventos desastrosos. Estas prioridades pueden estar relacionados a los siguientes campos, los cuales son conocidos como “sujetos de protección” (Ranke, 2016):

- Personas
- Medio ambiente
- Recursos naturales
- Herencia cultural
- Recursos industriales y agrícolas
- Interconexiones ecológicas y relaciones entre recursos naturales y humanos

Normalmente, la selección de un determinado sujeto de protección se basa en los efectos que cierto desastre pueda ocasionar; sin embargo, se recomienda que la decisión no se remita exclusivamente a ese punto, sino que también considere las causas raíz que pudieron originar la emergencia en cuestión.

No obstante, las leyes y regulaciones establecidas anteriormente por parte del estado pueden influenciar significativamente la elección de los sujetos de protección.

### **1.3.3. Indicadores de la Gestión de Riesgo de Desastres**

La tarea de evaluar el rendimiento de la Gestión de Riesgo de Desastres se puede realizar a través del uso de indicadores; sin embargo, esto resulta complicado, debido a que se necesita seguir una metodología que sea aceptada y pueda ser replicada en los distintos países del mundo, útil para la mayor cantidad de desastres posibles y que perdure en el tiempo (Carreño, Cardona & Barbat, 2007).

Dadas las condiciones mencionadas en el párrafo anterior, una metodología propuesta por los autores contempla la evaluación de cuatro grupos de indicadores, los que, a su vez, están compuestos por seis indicadores cada uno. Una breve descripción de los grupos es la siguiente:

- Indicadores de identificación del riesgo: Este conjunto de indicadores incluyen campos que cubren la evaluación de peligros, las características de la vulnerabilidad ante los peligros detectados, la estimación de potenciales impactos, entre otros. Cabe resaltar que la medición de estos indicadores tendrá

un impacto alarmante en la población solo si es que esta reconoce y entiende la naturaleza de los riesgos que pueden enfrentar.

Tabla 1: Indicadores de identificación de riesgo

<b>Indicadores de Identificación del riesgo</b>
Pérdida de inventario y daños del desastre
Monitoreo de peligros y pronósticos
Evaluación y mapeo de peligros
Evaluación del riesgo y vulnerabilidad
Información pública y participación de la comunidad
Entrenamiento y enseñanza orientado a la Gestión de Desastres

Fuente: Carreño et al. (2007)

- Indicadores de reducción del riesgo: El enfoque de este grupo se orienta a la implementación de medidas de prevención y mitigación con el fin de evitar los peligros o reducir los impactos negativos a la economía, sociedad y medio ambiente a través de acciones correctivas y prospectivas hacia las condiciones de vulnerabilidad contempladas.

Tabla 2: Indicadores de reducción del riesgo

<b>Indicadores de Reducción del riesgo</b>
Riesgos a considerar en el uso de tierras y el planeamiento urbano
Intervención a cuencas hidrográficas y protección ambiental
Implementación de controles de eventos riesgosos y técnicas de protección
Mejora de edificaciones afectadas y reubicación de asentamientos humanos de áreas propensas al riesgo
Actualización y reforzamiento de códigos y estándares de seguridad
Reforzamiento y modernización de recursos públicos y privados

Fuente: Carreño et al. (2007)

- Indicadores para la gestión de desastres: Brindar una respuesta y recursos para la recuperación de manera eficiente es el objetivo a medir por estos indicadores. Esto implica que los actores involucrados posean habilidades organizacionales adecuadas, así como los medios y capacidad necesarios para lidiar con los efectos de los desastres.

Tabla 3: Indicadores para la gestión de desastres

<b>Indicadores para la Gestión de Desastres</b>
Organización y coordinación de operaciones de emergencia
Planeamiento de las respuestas de emergencia e implementación de sistemas de alerta
Donación de equipos, herramientas e infraestructura
Simulación, actualización y pruebas de respuestas interinstitucionales
Preparación y entrenamiento comunitario
Planeamiento de reconstrucción y rehabilitación

Fuente: Carreño et al. (2007)

- Indicadores para la protección gubernamental y financiera: Las acciones que se involucren en este campo se relacionan a la adecuada asignación y uso de los recursos monetarios para implementar medidas apropiadas para lidiar con las pérdidas producto del desastre. Asimismo, un buen desempeño ayudará a mejorar la coordinación entre las instituciones participantes, así como disminuir los efectos hacia el crecimiento de la economía.

Tabla 4: Indicadores para la protección gubernamental y financiera

<b>Indicadores para la protección gubernamental y financiera</b>
Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada
Reservas financieras para reforzamiento institucional
Presupuesto de asignación y movilización
Implementación de redes de seguridad social y fondos de respuesta
Seguro de cobertura y estrategias de transferencia de pérdidas de recursos públicos
Seguro domiciliario y para el sector privado y reaseguro de cobertura

Fuente: Carreño et al. (2007)

#### 1.4. La Investigación de Operaciones

La Investigación de Operaciones, también conocida como Administración de la ciencia en sus inicios, es descrita por Dantzig (1963) como la ciencia dedicada a la toma de decisiones y sus aplicaciones, las cuales se relacionaban con la construcción de modelos que recreaban sistemas propios del mundo real. Estos modelos presentaban una estructura en la que los objetos del sistema, representados a través de símbolos, cumplían un conjunto determinado de reglas establecidas. Es importante resaltar que esta es una de las áreas sobre las que más se desarrollan estudios relativos a la Gestión de Desastres en las últimas décadas (Wu, 2016).

Asimismo, la práctica de la Investigación de Operaciones se basa en el método científico para su desarrollo; es decir, primero, se comienza con una observación y descripción de los hechos, luego, se formula una hipótesis de acuerdo a la información obtenida y, finalmente, se comparan los resultados con los hechos iniciales para validar la propuesta (Kemeny, 1960).

Específicamente, de acuerdo con Taha (2012), las fases que componen un estudio de Investigación de Operaciones son las siguientes:

- Definición del problema: En esta primera fase, el objetivo es delimitar el alcance de la problemática mediante la identificación de tres aspectos importantes: la descripción de las alternativas de decisión, la determinación del objetivo de estudio y la especificación de limitaciones bajo las que funciona el sistema modelado.

- **Construcción del modelo:** Etapa en la que se retrata el problema en relaciones matemáticas que se ajustan lo más posible a la realidad. La complejidad del modelo formulado influirá en el método de solución que se utilizará posteriormente.
- **Solución del modelo:** Implica el uso de algoritmos o métodos heurísticos para obtener una respuesta óptima del modelo propuesto. Adicionalmente, se recomienda realizar un análisis de sensibilidad con el fin de conocer el comportamiento de la solución cuando se cambian algunos parámetros del modelo.
- **Validación del modelo:** Fase en la que se comprueba si es que el modelo propuesto predice adecuadamente la situación analizada. En el caso de sistemas existentes, la validación se realiza a partir de la comparación con datos históricos; sin embargo, si es que se propone un sistema nuevo, la herramienta a utilizar para comprobar los resultados obtenidos sería la simulación.
- **Implementación de la solución:** Finalmente, la implementación comprende el cambio de los resultados en instrucciones de operación para las personas encargadas de administrar el sistema.

#### **1.4.1. La Programación Lineal**

La programación lineal se define como la optimización de una ecuación lineal que satisface un conjunto de igualdades o desigualdades lineales denominadas restricciones (Bazaraa, Jarvis & Sherali, 2011). Uno de sus máximos exponentes, quien además es considerado el padre de la programación lineal y creador del método símplex en 1947 es George B. Dantzig (Cottle, 2005). A pesar de esa distinción, Dantzig (1967) reconoció que antes de su formulación del método símplex, en la Unión Soviética, Kantorovich había propuesto el uso de modelos y métodos matemáticos para la resolución de problemas de planeamiento en 1939, pero debido a las políticas comunistas, su trabajo no tuvo la relevancia apropiada hasta mediados de 1950 cuando la programación lineal ya era bastante conocida en Occidente. Asimismo, Dantzig (2002) reconocía la contribución previa de otros pioneros sin la cual sus formulaciones no hubieran sido posibles como lo son von Neumann, Leontief, Koopmans y el ya mencionado Kantorovich.

Desde esa época hasta la actualidad, se han realizado varios aportes relativos a la programación lineal, debido a la amplia aceptación que generó desde sus inicios. Por ello, se analizará el problema básico de la programación lineal y las condiciones bajo las que se desarrolla:

a) Formulación

Existen diversas formas de representar un problema de programación lineal, entre las más aceptadas se encuentran la forma estándar y la canónica. En la primera, la función objetivo es de minimización, todas las restricciones se presentan bajo la forma de igualdades y todas las variables son positivas. En cambio, la forma canónica depende de si el problema es de minimización o maximización. Para el primer caso, todas las variables son no negativas y las restricciones son de la forma mayor igual ( $\geq$ ), mientras que para el caso de maximización, las variables también tienen que ser positivas, pero las restricciones deben ser de tipo menor igual ( $\leq$ ) (Bazaraa et al., 2011).

A continuación, se presenta el problema de programación lineal en su forma estándar en matrices de acuerdo con lo representado por Kwon (2013):

Minimizar:

$$Z = C^T x \quad (1)$$

Sujeto a:

$$Ax = B \quad (2)$$

$$x \geq 0 \quad (3)$$

Donde:

Z: Función objetivo

C: Vector columna llamado vector de costos, pues contiene los “n” coeficientes de costos

$$C = \begin{bmatrix} c_1 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix}$$

x: Vector columna nombrado vector de decisión, puesto que engloba las “n” variables de decisión

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

A: Matriz de restricciones de orden mxn que contiene los coeficientes tecnológicos

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

B: Vector columna denominado vector de la mano derecha, ya que comprende los “m” requerimientos mínimos a satisfacer

$$B = \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_i \end{bmatrix}$$

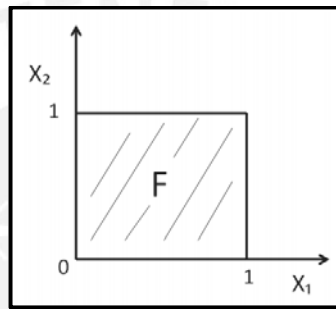
Adicionalmente, se define:

F: Denominado conjunto factible que cumple la siguiente condición:

$$F = \{x \in R^n | Ax = B, x \geq 0\} \quad (4)$$

El conjunto F puede ser representado de acuerdo al Gráfico 1:

Gráfico 1: Representación del conjunto factible F



Fuente: Kwon (2013)

Para que un problema de programación lineal sea consistente se debe cumplir:

$$F \neq \emptyset \quad (5)$$

De esta manera, se puede afirmar que una solución  $x'$  es factible si:

$$x' \in F \quad (6)$$

Finalmente, se puede confirmar que una solución  $x^*$  es óptima si se presentan las siguientes condiciones:

$$x^* \in F \quad (7)$$

$$C^T x^* \leq C^T x, \quad \forall x \in F \quad (8)$$

Si alguna de estas condiciones no se cumple, la solución es considerada subóptima.

Adicionalmente, las formas canónicas y estándar en forma de sumatorias pueden representarse conforme a la Tabla 5:



Tabla 5: Notación de formas estándar y canónica

	PROBLEMA DE MINIMIZACIÓN	PROBLEMA DE MAXIMIZACIÓN
FORMA ESTÁNDAR	Minimizar $\sum_{j=1}^n c_j x_j$ Sujeto a: $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i, \quad i = 1, \dots, m$ $x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n.$	Maximizar $\sum_{j=1}^n c_j x_j$ Sujeto a: $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i, \quad i = 1, \dots, m$ $x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n.$
FORMA CANÓNICA	Minimizar $\sum_{j=1}^n c_j x_j$ Sujeto a: $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i, \quad i = 1, \dots, m$ $x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n.$	Maximizar $\sum_{j=1}^n c_j x_j$ Sujeto a: $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = 1, \dots, m$ $x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n.$

Fuente: Bazaraa et al. (2011)

Las diferentes formas de representar un problema de programación lineal pueden ayudar para la posterior aplicación de métodos para su resolución, por ejemplo, para utilizar el método simplex, es necesario que el problema se encuentre en forma estándar.

b) Supuestos considerados

La formulación presentada considera supuestos que se deben tener en cuenta para la lógica del modelo (Kwon, 2013):

- Proporcionalidad: Esta propiedad se refiere a que solo se permite en la formulación el uso de variables de decisión elevadas a la primera potencia. Como consecuencia de ello, cualquier contribución que estas realicen será directamente proporcional a sus valores.
- Divisibilidad: Característica que indica que las variables de decisión solo pueden tomar valores pertenecientes a los números reales.
- Aditividad: Señala que la contribución de cualquier variable de decisión en el modelo no depende de ninguna de las otras variables. De esta manera, la contribución total de todas las variables es la suma de ellas.
- Certeza: Se asume que los datos de todos los coeficientes involucrados en el modelo son conocidos y válidos; por lo tanto, los resultados reflejarán la realidad.

c) Reglas de conversión:

En ocasiones, es necesario transformar el problema de programación lineal para que adopte cierta forma que será conveniente para su resolución. Para ello, existen ciertos arreglos que se pueden realizar de acuerdo al caso.

- Desigualdades: De acuerdo con Kwon (2013), si inicialmente se tiene una restricción de la siguiente forma:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \geq b_i \quad (9)$$

Esta se puede convertir en una ecuación al restar una variable no negativa adicional que se denominará  $s_i$ . Con lo cual, la expresión sería:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j - s_i = b_i \quad (10)$$

En el caso se tuviera una restricción de la forma menor igual:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i \quad (11)$$

El tratamiento sería similar, pues solo sumaría en lugar de restar la variable adicional:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + s_i = b_i \quad (12)$$

- Ecuaciones: En el caso de que se desee tener solo desigualdades, se puede convertir la siguiente igualdad (Bazaraa et al., 2011):

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = b_i \quad (13)$$

En dos desigualdades de la siguiente forma:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \geq b_i \quad (15)$$

- Variables sin restricción:

Si es que las variables no tienen restricción; es decir, pueden tomar cualquier valor positivo o negativo dentro de los números reales, la situación se puede representar a través de la resta de dos variables no negativas (Bazaraa et al., 2011):

$$x = x'_j - x''_j \quad (16)$$

$$x'_j \geq 0 \quad (17)$$

$$x''_j \geq 0 \quad (18)$$

- Maximización y minimización:

Se puede realizar una equivalencia, de manera que un problema de maximización se pueda convertir fácilmente en uno de minimización. Solo se debe aplicar la siguiente ecuación (Bazaraa et al., 2011):

$$\text{Maximizar } \sum_{j=1}^n c_j x_j = -\text{Minimizar } \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (19)$$

#### 1.4.2. Programación Entera

La programación entera comprende un conjunto de problemas de programación lineal en las cuales por lo menos una de las variables de decisión debe tener un valor entero, caso contrario, sería clasificado como otro problema común de programación lineal (Balinski, 1965).

La formulación de un problema de programación entera (ILP por sus siglas en inglés) en forma estándar de maximización es la siguiente:

Maximizar:

$$Z = C^T x \quad (20)$$

Sujeto a:

$$Ax = B \quad (21)$$

$$x \geq 0 \quad (22)$$

$$x_j \text{ es entero, } j = 1, \dots, n \quad (23)$$

Donde:

Z: Función objetivo

C: Matriz de orden nx1

x: Matriz de orden nx1

A: Matriz de orden mxn

B: Matriz de orden mx1

En el problema de programación entera pura, todas las variables de decisión deben adoptar un valor entero únicamente.

A partir de esta formulación general, se pueden desprender los distintos casos particulares de la programación entera:

Si se limita un caso de ILP con la restricción de que todas las variables deben ser 0 o 1, se estaría frente a un problema de programación entera binaria (BILP). Ante esta situación, se modificaría la restricción (22) por la siguiente condición (Cabot & Hurter, 1968):

$$0 \leq x \leq 1 \quad (24)$$

En cambio, si es que solo se desea que un grupo de todas las variables de decisión sean enteras, se presenta un problema de programación entera mixta (MILP). Para su formulación, se modifica la restricción (23) y se adiciona la condición (26) (Benders, 1962):

$$x_j \text{ es entero}, \quad j = 1, \dots, p \quad (25)$$

$$1 \leq p < n \quad (26)$$

Al limitar el valor de “p” a un número menor que “n” se asegura que no todas las variables de decisión estén afectadas por la restricción que señala que deben ser enteros.

Las aplicaciones de la programación entera cubren una gran diversidad de asuntos entre los cuales se encuentran la localización de fábricas, el problema del agente viajero, problemas de costos fijos, problemas de optimización combinatoria que pueden ser definidos por redes o grafos, entre muchos más.

### 1.5. Análisis de Clusters

De acuerdo con Villardón (2007), el análisis de clústeres consiste en el ordenamiento de datos en grupos, de manera que se cumpla la condición de que miembros del mismo clúster presenten un grado de asociación o similitud mayor que con miembros de distintos clusters. Esta es una técnica utilizada para resolver problemas de clasificación, dado que cada clúster formado se considera como la nueva clase a la

que pertenecen los datos que lo componen, la cual no es sencilla de determinar sin un análisis más exhaustivo como el realizado en este método.

### 1.5.1. Clasificación Típica

El análisis de clústeres presenta dos metodologías clásicas y ampliamente utilizadas:

- Métodos de clasificación jerárquicos: Según Villardón (2007), estos consisten en la agrupación de clústeres para formar grupos más grandes o en la división de un clúster para la formación de nuevos; es decir, se crean clases anidadas a partir de un conjunto mayor. En cualquiera de los dos casos, de acuerdo con Gallardo (2011), el proceso se detiene cuando sucede alguno de los siguientes escenarios: (a) Se forma un único conglomerado. (b) Se alcanza el número de grupos deseado. (c) Se determina que continuar con las agrupaciones es estadísticamente ineficiente a través de un contraste de significación, debido a que los grupos formados no presentan una homogeneidad que justifique una nueva agrupación.

Los métodos jerárquicos permiten el uso de dendrogramas, herramienta visual en el que se puede apreciar el procedimiento de unión conseguido.

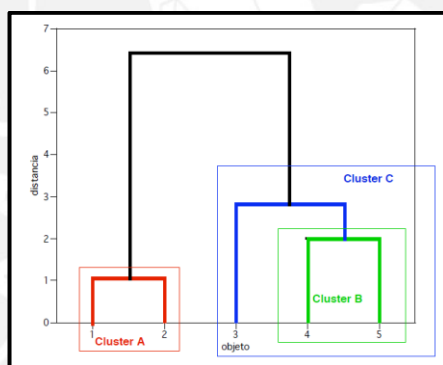


Figura 6: Dendrograma formado por tres clusteres

Fuente: Villardón (2007)

A su vez, estos métodos pueden pertenecer a las siguientes clases (Gallardo, 2011):

- Métodos Aglomerativos o ascendentes: Se considera que cada dato es un clúster y a partir de ellos se forman grupos de manera ascendente hasta que se hayan clasificado todos los datos.
- Métodos disociativos, divisivos o descendentes: Su proceso es el inverso al método aglomerativo. Se parte de un solo conglomerado que contiene todos los datos al cual se le realizan divisiones hasta formar grupos más pequeños que abarquen todos los casos de clasificación de los datos tratados.

Para estos métodos, es necesario la construcción de una matriz de distancias entre todos los puntos del conjunto de datos a analizar para poder determinar la cercanía entre ellos; por ende, se debe escoger un método de unión acorde con las características de la data que se posee. Entre los más comunes se encuentran (Sas Institute, 2008):

- Distancia mínima: Es el método más simple, pues señala la distancia entre clústeres como la mínima entre un par de puntos que pertenecen a grupos diferentes. Este método usualmente no genera clústeres tan compactos, pero se desempeña ligeramente mejor que otras técnicas para detectar clústeres irregulares.
- Distancia máxima: Como su nombre lo indica, la distancia entre clústeres es la máxima entre dos puntos en grupos diferentes, lo cual forma, generalmente, clústeres con diámetros similares.
- Distancia promedio: La distancia calculada es el promedio de las distancias entre todos los puntos que pertenecen a clústeres diferentes. Este tipo de unión tiende a generar grupos con la misma varianza.
- Método Ward: La distancia entre clústeres se calcula como la suma de cuadrados de la varianza de la tabla ANOVA generada para cada una de las variables del conjunto de datos. Este método resulta altamente sensible a outliers (valores extremos o anómalos) y suele formar clústeres con un número bajo de observaciones.

Otra opción que permiten algunos tipos de software es la de introducir directamente la matriz de distancia; es decir, no es necesario indicar como datos de entrada los datos originales y el método de unión. Esto permite una mayor libertad al usuario de escoger el tipo de distancia que sea más acorde a las características de sus datos y calcular su propia matriz de distancia.

Cabe resaltar que los métodos jerárquicos presentan ciertas desventajas como la sensibilidad ante outliers o la imposibilidad de corregir un dato mal clasificado en cualquier punto de la ejecución del algoritmo.

- Métodos de Partición: De acuerdo con Popat y Emmanuel (2014), estos métodos son empleados para la clasificación de individuos en un número K de clústeres predeterminado. En estos casos, se reacomodan todos los puntos del conjunto de datos ingresados de forma iterativa hasta obtener la mejor partición

que optimice una función objetivo, generalmente se busca minimizar la distancia entre los puntos de un mismo clúster y maximizar la distancia entre clústeres.

Entre los algoritmos más populares de este tipo se encuentran:

- Método K-medias: Técnica propuesta por MacQueen (1967), consiste en colocar cada punto en el clúster cuyo centroide sea el más cercano. Funciona correctamente para distancias euclidianas. El procedimiento que se debe seguir es el siguiente:
  - Escoger el número “k” de clústeres y determinar “k” centroides aleatorios.
  - Se asigna un punto al centroide más cercano, luego, se recalcula el centroide de los nuevos clústeres formados.
  - Se repite el paso anterior hasta que todos los puntos hayan sido asignados a algún clúster.
- Método K-mediodos: Este método presentado por Kaufman y Rousseeuw (1987) es similar al de K-medias, con la diferencia de que en lugar de considerar los centroides de los clústeres, utiliza los mediodes, objetos que tienen la menor disimilitud promedio entre todos los puntos del conjunto de datos. El procedimiento a seguir es el mismo que el de K-medias, pero los resultados obtenidos son más robustos ante la presencia de outliers.

Estas dos clasificaciones de clustering son las más básicas y en las últimas décadas, nuevos métodos han sido propuestos como las técnicas de clustering de densidad o los métodos de clustering borrosos, entre otros.

### **1.5.2. Determinación del Número Óptimo de Clústeres**

Uno de los mayores inconvenientes en la aplicación de muchas de los algoritmos del análisis de clústeres es seleccionar el número de clústeres en el cual se desea dividir el conjunto de datos. Para este objetivo, es necesario evaluar la calidad de los clústeres generados, lo cual se puede lograr con el cálculo de un índice de desempeño. Sin embargo, existe una gran cantidad de índices que se han propuesto a través de los años y resulta complicado escoger cuál usar en cada caso, puesto que no hay un criterio universal para su elección (Tomašev & Radovanović, 2016).

Los índices de evaluación pueden clasificarse en las siguientes categorías:

- Índices internos: Se encarga de medir la unión entre los puntos de un clúster y la separación entre clústeres.

- Índices externos: Comparan la clasificación real y la obtenida al aplicar algún algoritmo.
- Índices relativos: Son utilizados para identificar la partición más estable ante cambios en determinados parámetros de un mismo algoritmo.

De las categorías antes mencionadas, los índices internos son los más utilizados, dado que los externos necesitan de la clasificación real de los datos, lo cual no siempre es posible obtener, y puesto que los relativos requieren de un mayor procesamiento de la data.

Entre los índices internos más utilizados se encuentran los siguientes:

- Índice de Silueta: Este indicador calcula la silueta  $s(i)$  para cada punto del conjunto de datos de acuerdo a la disimilitud respecto de los demás puntos. Según Rousseeuw (1987), para calcular la silueta de un punto  $i$  que pertenece al clúster  $A$ , se deben seguir los siguientes pasos:
  - Calcular la disimilitud promedio del punto  $i$  a todos los demás puntos que pertenecen al clúster  $A$ . A este valor se denomina  $a(i)$ .
  - Calcular la disimilitud promedio del punto  $i$  a todos los demás puntos de cada uno de los clústeres diferentes de  $A$ . A este valor se le denomina  $d(i,C)$ ,  $C$  representa cualquier clúster diferente de  $A$ .
  - Seleccionar  $b(i)$ , el mínimo de todos los valores  $d(i,C)$  calculados.
  - Obtener la silueta  $s(i)$  mediante el siguiente cálculo:

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}} \quad (27)$$

- Finalmente, calcular la silueta promedio considerando todos los objetos para obtener el valor del índice para toda la partición.

Mientras mayor sea el valor del índice, indicará que la partición obtenida ha sido satisfactoria.

Este índice ofrece la ventaja que solo depende de la partición generada y no del algoritmo utilizado para obtenerla. Además, el índice de silueta es de gran ayuda para clústeres compactos y de forma esférica.

- Índice Dunn: Este índice tiene como objetivo minimizar la distancia entre los puntos interiores de cada uno de los clústeres de la partición y maximizar la



distancia entre clústeres distintos (Dunn, 1974). El indicador se define de la siguiente manera:

$$D = \min_{i,j \in \{1...K\}, i \neq j} \left\{ \frac{\min_{x \in C_i} \left( \min_{y \in C_j} d(x,y) \right)}{\max_{i \in \{1...K\}} \left( \max_{x,y \in C_i} d(x,y) \right)} \right\} \quad (28)$$

Donde:

$d(x,y)$ : Distancia entre los puntos x e y

$C_i, C_j$ : Clústeres

K: Número de clústeres

El máximo valor del índice Dunn indicará la mejor partición con clústeres compactos y bien separados.

- Índice Davies-Bouldin: Esta medida se define como un ratio entre la distancia entre los puntos de un mismo clúster y la distancia entre clústeres de una partición. De acuerdo con Davies y Bouldin (1979), el cálculo de este índice (R) se puede resumir de la siguiente manera:

$$R_{ij} = \frac{S_i + S_j}{M_{ij}} \quad (29)$$

$$R_i = \max R_{ij}, \quad \forall i \quad (30)$$

$$R = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i \quad (31)$$

Donde:

N: Número de clústeres de la partición

$S_i$ : Dispersión del clúster i

$S_j$ : Dispersión del clúster j

$M_{ij}$ : Distancia entre clústeres i y j

Para los valores  $S_i$ ,  $S_j$  y  $M_{ij}$  pueden usarse las funciones y tipos de distancias que el usuario decida. El valor óptimo del índice será el mínimo generado de entre todas las posibilidades, ya que el cálculo indica la similitud promedio entre un clúster y su par más parecido, debido a que se buscan clústeres bien definidos, la similitud entre estos no debe ser alta.

## Capítulo 2: Estudio de Casos

Para ejemplificar el uso de algunas de las herramientas, conceptos y metodologías detalladas en el capítulo anterior, se describirá a grandes rasgos la solución y métodos empleados en algunos casos de estudio relacionados con desastres naturales. Estas situaciones complementan el marco teórico planteado anteriormente y presentan una mayor cantidad de técnicas que pueden servir para el planteamiento del modelo a realizar.

### 2.1. Localización y Distribución de Bienes ante Terremotos

En este caso, Bozorgi – Amiri, Jabalameli y Mirzapour Al-e-Hashem (2013) diseñaron un modelo para determinar la localización de almacenes para la distribución de bienes a las posibles áreas afectadas por un terremoto en Irán. Consideraron factores importantes la capacidad de los almacenes, la distancia entre los almacenes y los proveedores y las principales áreas afectadas y la seguridad de los almacenes respecto al riesgo de destrucción por el terremoto o ante robos.

El modelo propuesto por estos autores se basó en una función multiobjetivo y una formulación que involucra la aplicación de Optimización Robusta, Programación Estocástica y Programación Comprometida para alcanzar la solución de la problemática planteada.

A continuación, se presentará una breve descripción de las técnicas empleadas:

#### 2.1.1. Optimización Robusta

La Optimización Robusta es un método empleado en problemas cuyos parámetros presentan incertidumbre; es decir, no pueden ser considerados determinísticos y sus valores cambian dependiendo del escenario que se presente. Para el caso presentado por Bozorgi – Amiri et al. (2013), se utilizó el modelo de Optimización Robusta ideado por Mulvey, Vanderbei y Zenios (1995), el cual analiza dos tipos de robustez además de un término para el costo de variabilidad:

- Robustez de la solución: Se cumple cuando la solución del modelo es lo más cercana posible al óptimo para todos los escenarios posibles.
- Robustez del modelo: Se cumple si es que la solución del modelo es lo más factible posible para todos los escenarios planteados en la formulación.

En este caso de problemas, se manejan dos tipos de variables (Mulvey et al.,1995):

- Variables de diseño: Aquellas cuyo valor óptimo no depende del valor de parámetros con incertidumbre. El autor las denota de la siguiente manera:

$$X \in R^{n1} \quad (32)$$

- Variables de control de decisión: Aquellas cuyo óptimo dependen del valor de las variables de diseño y del valor adoptado por los parámetros con incertidumbre de acuerdo con el escenario presentado. Se les denota de la siguiente forma:

$$X \in R^{n2} \quad (33)$$

Un modelo de Optimización Robusta puede empezar a formularse de la siguiente manera (Mulvey et al.,1995):

Minimizar:

$$Z = c^T x + d^T y \quad (34)$$

$$x \in R^{n1}, y \in R^{n2}$$

Sujeto a:

$$Ax = b \quad (35)$$

$$Bx + Cy = e \quad (36)$$

$$x, y \geq 0 \quad (37)$$

En la restricción (30), se presentan las condiciones estructurales en los que los coeficientes son fijos, pues solo se involucran variables de diseño; en cambio, en la restricción (31), se considera la variable de control y, por lo que los coeficientes están sujetos a ruido e incertidumbre.

Ahora que la estructura básica del modelo ha sido formulada, se introducirán los escenarios ( $s \in \Omega$ ) con probabilidad  $p_s$  para que el problema se convierta en uno de Optimización Robusta. Debido a la incertidumbre presente en algunos parámetros, puede ocurrir que algunas soluciones resulten no factibles; por ello, se adiciona la variable  $\delta_s$  para cada uno de los escenarios, la cual representa la no factibilidad del modelo. Asimismo, las matrices B, C, d y e presentan incertidumbre de acuerdo a cada uno de los s escenarios posibles.

De esta manera, el modelo robusto resulta de la siguiente forma (Bozorgi – Amiri et al., 2013):

Minimizar:

$$\sigma(x, y_1, \dots, y_s) + \gamma \rho(\delta_1, \dots, \delta_s) \quad (38)$$

Sujeto a:

$$Ax = b \quad (39)$$

$$B_s x + C_s y_s + \delta_s = e_s, \quad \forall s \in \Omega \quad (40)$$

$$x \geq 0, y_s \geq 0, \quad \forall s \in \Omega \quad (41)$$

El primer término de la función objetivo está asociada a la robustez de la solución, mientras que el segundo se relaciona con la robustez del modelo y penaliza cada una de las soluciones que falla en satisfacer la demanda requerida o alguna otra de las restricciones establecidas. Finalmente, el peso  $\gamma$  es utilizado para modelar las compensaciones existentes en algunas soluciones entre la robustez de la solución y la robustez del modelo.

Al modelo presentado anteriormente, le falta definir el término que determine el costo de variabilidad. Para el problema expuesto por Bozorgi – Amirgi et al. (2013) se utilizó el método propuesto por Yu y Li (2000) que se basa en el siguiente teorema:

Minimizar

$$Z = |f(x) - g| \quad (42)$$

Sujeto a:

$$X \in F, \quad F \text{ conjunto factible} \quad (43)$$

El problema presentado líneas arriba puede linealizarse de la siguiente manera:

Minimizar:

$$ZZ = f(x) - g + 2\delta \quad (44)$$

Sujeto a:

$$g - f(x) - \delta \geq 0 \quad (45)$$

$$\delta \geq 0, \quad X \in F \quad (46)$$

De esta manera, se puede reformular la función objetivo (33) por la siguiente:

Minimizar:

$$\sum_{s \in \Omega} p_s \xi_s + \lambda \sum_{s \in \Omega} p_s \left[ \left( \xi_s - \sum_{s' \in \Omega} p_{s'} \xi_{s'} \right) + 2\theta_s \right] + \gamma \sum_{s \in \Omega} p_s \delta_s \quad (47)$$

Donde  $\xi_s = f(x, y_s)$  y  $\lambda$  es el peso asignado a la varianza de la solución que tiende a mantenerse constante o presentar poca diferencia en los distintos escenarios establecidos.

Estos conceptos fueron considerados para formular las dos funciones objetivo en la problemática presentada por Bozorgi – Amiri et al. (2013):

$$\begin{aligned}
 \text{Min Obj}_1 &= SC + PC + TC + \sum_{s \in S} p_s (PC_s + TCS_s + TCRC_s + IC_s + SC_s) \\
 &+ \lambda_1 \cdot \sum_{s \in S} p_s \left[ (PC_s + TCS_s + TCRC_s + IC_s + SC_s) \right. \\
 &- \left. \sum_{s' \in S} p_{s'} (PC_{s'} + TCS_{s'} + TCRC_{s'} + IC_{s'} + SC_{s'}) \right] + 2\theta_{1s} \\
 &+ \gamma \sum_{j \in J} \sum_{c \in C} \sum_{s \in S} p_s \delta_{jcs}
 \end{aligned}$$

Figura 7: Función Objetivo 1

Fuente: Bozorgi – Amiri et al. (2013)

Donde:

SC: Costo de instalación de los centros de distribución de ayuda humanitaria

PC: Costos de adquisición de bienes en la etapa pre desastre

TC: Costo de transporte de los proveedores a los centros de distribución de ayuda humanitaria en la etapa pre desastre

PC<sub>s</sub>: Costos de adquisición de bienes en la etapa post desastre

TCS<sub>s</sub>: Costo de transporte de los proveedores a los centros de distribución de ayuda humanitaria en la etapa post desastre

TCRC<sub>s</sub>: Costo de transporte de los centros de distribución de ayuda humanitaria a las áreas afectadas en la etapa pre desastre

IC<sub>s</sub>: Costos de retención de inventarios en las áreas afectadas

SC<sub>s</sub>: Costos por falta de bienes en las áreas afectadas

$$\begin{aligned}
 \text{Min Obj}_2 &= \sum_{s \in S} p_s \cdot \left( \sum_{c \in C} \max_{k \in K} \{b_{kcs}\} \right) \\
 &+ \lambda_2 \cdot \sum_{s \in S} p_s \cdot \left[ \left( \sum_{c \in C} \max_{k \in K} \{b_{kcs}\} \right) - \sum_{s' \in S} p_{s'} \cdot \sum_{c \in C} \max_{k \in K} \{b_{kcs'}\} \right] + 2\theta_{2s}
 \end{aligned}$$

Figura 8: Función Objetivo 2

Fuente: Bozorgi – Amiri et al. (2013)

Donde:

b<sub>kcs</sub>: Cantidad de bienes “c” faltantes en las áreas afectadas “k” en el escenario “s”

Se puede identificar a grandes rasgos, que las dos funciones objetivo presentan los términos propios de los métodos de Optimización Robusta presentados anteriormente como el término del costo de la variabilidad y los asociados a la robustez del modelo y la solución.

### 2.1.2. Programación Comprometida

En el presente caso de estudio, se utiliza la métrica LP, que pertenece al tópico de Programación Comprometida, las cuales comprenden un conjunto de métodos analíticos multicriterio que encuentran soluciones cercanas al óptimo dada una medida de distancia establecida (Abrishamchi, Ebrahimian, Tajrishi & Mariño, 2005).

Dado un conjunto de criterios  $i = 1, \dots, I$ , se obtiene un vector con el valor óptimo de entre todos los puntos tal que:

$$f_i^* = \text{Max } f_i(x) \quad (48)$$

Identificados los todos valores del vector ideal, se puede realizar la comparación con todos los puntos pertenecientes al conjunto factible  $X$  a través de la métrica de distancia. El cálculo a realizar es el siguiente:

$$L_p(x) = \left[ \sum_{i=1}^I w_i^p |f_i^* - f_i(x)|^p \right]^{1/p} \quad (49)$$

Donde  $w$  es el peso que se le asigna a cada criterio de acuerdo a la importancia que tiene en el modelo y  $p$  es un parámetro que refleja la importancia de la máxima desviación respecto al valor ideal.

Luego de determinados los valores de  $w$  y  $p$ , la solución se obtiene de la siguiente forma:

Minimizar:

$$L_p(x), \quad x \in X \quad (50)$$

Para el caso presentado por Bozorgi – Amiri et al. (2013), la métrica LP es utilizada para hallar el óptimo entre las dos funciones objetivo planteadas de la siguiente manera:

$$\text{Min Obj}_3 = \left[ w \cdot \frac{\text{Obj}_1 - \text{Obj}_1^*}{\text{Obj}_1^*} + (1 - w) \cdot \frac{\text{Obj}_2 - \text{Obj}_2^*}{\text{Obj}_2^*} \right]$$

Figura 9: Función Objetivo 3 obtenida con la métrica LP

Fuente: Bozorgi – Amiri et al. (2013)

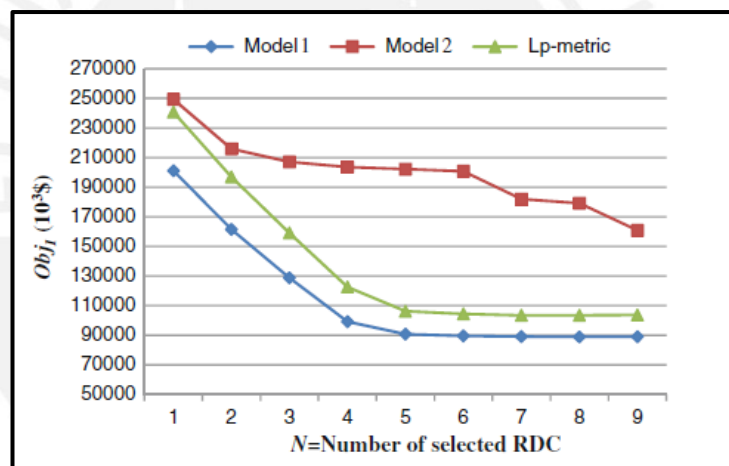
### 2.1.3. Resultados Obtenidos

Se realizaron varias comparaciones respecto a los siguientes modelos para determinar la efectividad de cada uno de ellos:

- Modelo 1: Considera solo la función objetivo 1 asociada a los costos totales de la cadena de suministro humanitaria.
- Modelo 2: Considera únicamente la función objetivo 2 relacionada al total de bienes faltantes en todos los puntos de demanda.
- Modelo 3: Considera la función objetivo 3 con el método de la métrica LP.

Al analizar el costo total de la cadena de suministro (función objetivo 1) contra el número de centros de distribución seleccionados para atender a las áreas afectadas en caso de un terremoto en todos los modelos se obtuvieron los siguientes resultados:

Gráfico 2: Costo Total vs Número de centros de distribución por abrir

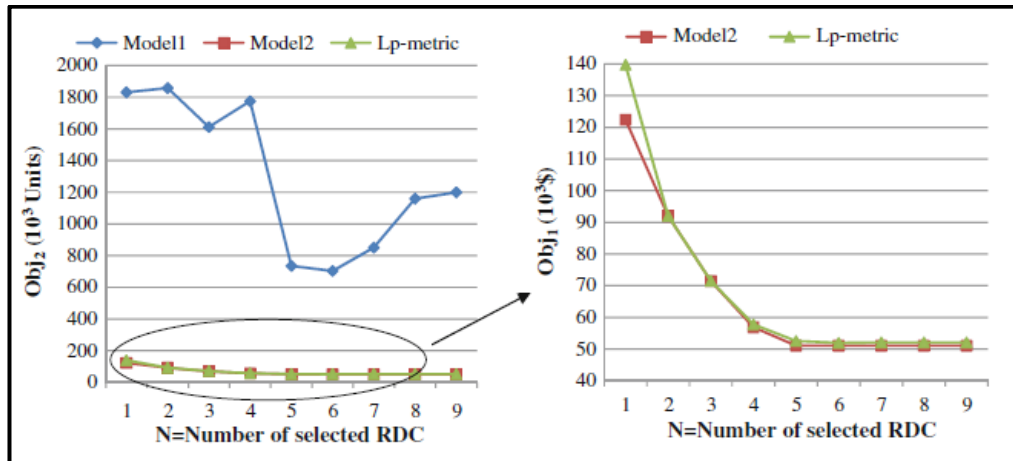


Fuente: Bozorgi – Amiri et al. (2013)

Se observa que para los modelos 2 y 3 al incrementarse el número de almacenes por abrir los costos disminuyen, lo que no ocurre siempre en el modelo 1. Además, los valores cercanos al óptimo se obtienen a partir de decidir la apertura de seis almacenes.

Si se procede a analizar únicamente la función objetivo 2, la cual se relaciona con la suma total de la falta de bienes en las áreas afectadas contra el número de almacenes seleccionados para su apertura, se obtienen los siguientes resultados para los modelos

Gráfico 3: Falta de bienes vs Número de centros de distribución por abrir

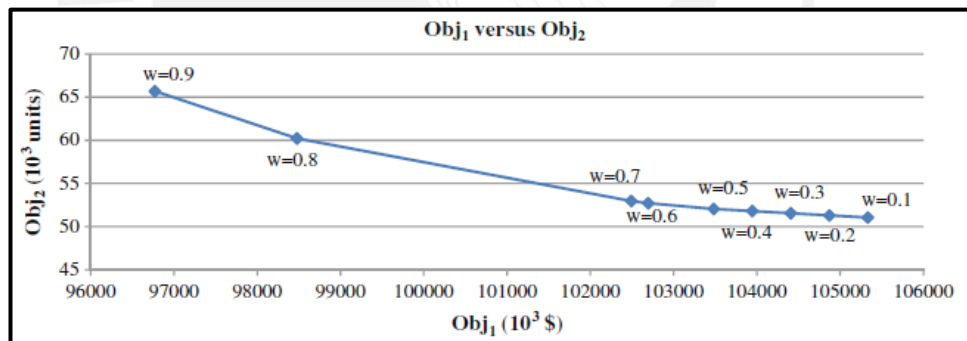


Fuente: Bozorgi – Amiri et al. (2013)

Se muestra una clara diferencia a favor de los modelos 2 y 3, los cuales, a su vez, obtienen valores muy cercanos, pero que finalmente resultan más favorables para el modelo 2.

Sin embargo, el valor de  $w$  en el modelo 3 podría mejorar los resultados anteriores, con lo que sería la mejor alternativa ante este problema. A continuación, se muestra un análisis de sensibilidad de  $w$  respecto de las funciones objetivo 1 y 2:

Gráfico 4: Análisis de sensibilidad de  $w$



Fuente: Bozorgi – Amiri et al. (2013)

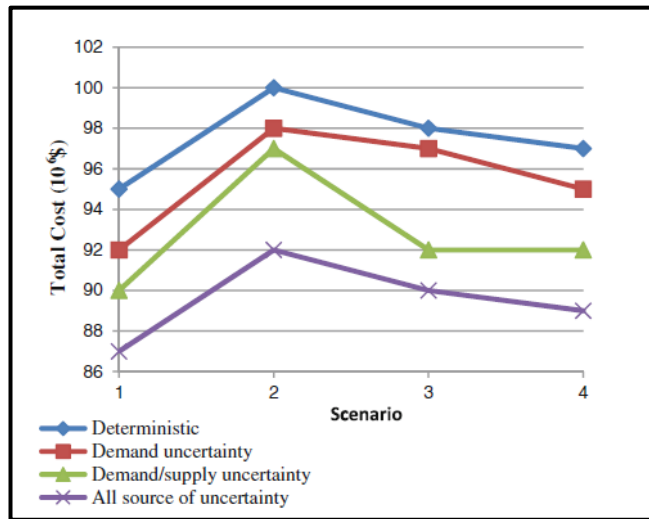
Para reforzar lo expuesto en el Gráfico 4, se realizó un análisis de diferentes modelos que no consideran incertidumbre en los parámetros del presente problema. Así, se tienen los siguientes cuatro casos:

- Modelo determinístico
- Modelo con demanda incierta
- Modelo con demanda y suministro incierto
- Modelo con todas las fuentes de incertidumbre



Los resultados para el costo total para cada uno de los modelos fue el siguiente:

Gráfico 5: Costo total por modelo en todos los escenarios



Fuente: Bozorgi – Amiri et al. (2013)

Con el Gráfico 5, se confirma que al considerar todas las fuentes de incertidumbre identificadas en un caso crítico como el presentado permite reducir los costos considerablemente a diferencia de los modelos determinísticos. Por lo tanto, se demuestra la efectividad del modelo planteado.

## 2.2. Métodos de Clustering para Determinar Regiones por Tipos de Desastres

El trabajo expuesto por Santos de Lima, de Oliveira, Buss Gonçalves & Marcondes Altimari Samed (2014) expone el uso del método K-medias de clustering para separar las regiones del Estado de Santa Catarina, Brasil en determinados grupos de acuerdo a sus características. Una vez definidos los clústeres, se podría analizar la ocurrencia de los diferentes tipos de desastres que se experimentan en dichas áreas con lo cual se puede establecer qué tipos de bienes y las cantidades estimadas que la población vulnerable de esas regiones necesitará en caso de que alguno de los desastres identificados ocurra.

### 2.2.1. Método K-medias

En general, según Bandyopadhyay (2011), en el caso más sencillo, los métodos de clustering calculan la partición  $[\mu_{kj}]_{K \times n}$  que representa el grado de pertenencia del punto  $x_j$  al clúster  $C_k$ ,  $k = 1, \dots, K$ . Si el punto  $x_j$  pertenece al clúster  $C_k$ ,  $\mu_{kj} = 1$ , caso contrario  $\mu_{kj} = 0$ .

Particularmente, el método K-medias busca minimizar la distancia euclidiana ( $D^2$ ) entre cada uno de los  $x_j$  puntos y el centroide  $z_k$  del clúster al que pertenece definida mediante la siguiente expresión:

$$J = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K \mu_{kj} D^2(z_k, x_j) \quad (51)$$

El paso inicial para usar este método es el de seleccionar la cantidad “K” de clústeres a formar, luego el algoritmo seleccionará de manera aleatoria los centroides para cada clúster, después, usando la ecuación definida anteriormente, se determinará el destino de todos los  $x_j$  puntos, con lo que se termina la primera iteración del método. Para continuar con las demás corridas, se calcula la nueva media para los “K” clústeres y se determina la nueva distribución de puntos en cada clúster.

Este proceso se repite hasta que se alcance cierta medida de  $J$  o hasta que se cumplan un determinado número de iteraciones.

### 2.2.2. Resultados Obtenidos

Para el caso de análisis, los autores decidieron que el número “K” de clústeres fuese igual a cuatro y luego de aplicar la metodología descrita, se obtuvo la siguiente distribución geográfica de los clústeres en la Figura 10:

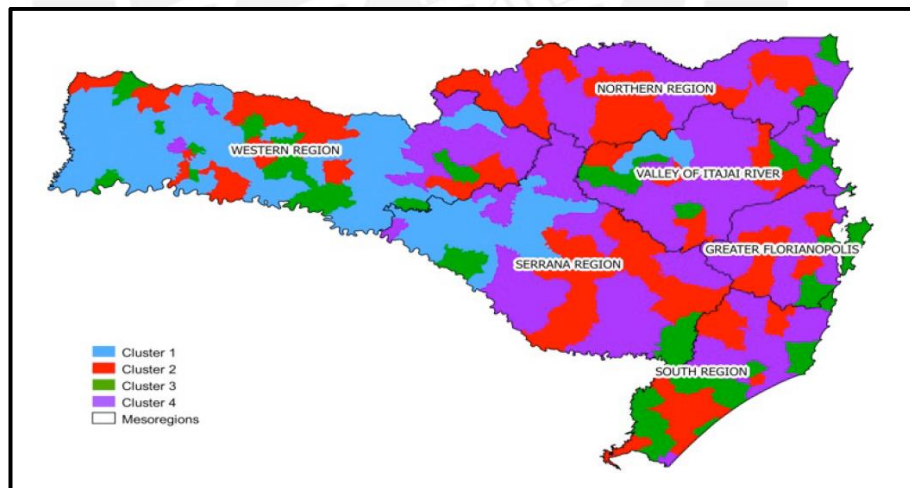


Figura 10: Distribución geográfica de los clústeres en el estado de Santa Catarina

Fuente: Santos de Lima et al. (2014)

A partir de la definición de los clústeres, se identificaron los desastres de mayor ocurrencia en dichas zonas para poder definir los bienes a brindar a las personas de esas regiones en la etapa pre-desastre o los recursos a mantener almacenados y preparados para la distribución en la etapa post desastre.

Así, los eventos registrados para cada clúster se muestran en la Tabla 6:

Tabla 6: Ocurrencia de desastres y cantidad de distritos afectados por clúster

Cluster	Occurrence of Events						Total Events	Municipalities
	Windstorms	Hail	Floods	Landslides and flash floods	Droughts	Others		
1	87	73	22	100	845	33	1160	90
2	125	101	133	316	174	36	885	54
3	35	32	33	201	145	78	524	42
4	57	41	53	354	123	50	678	108

Fuente: Fuente: Santos de Lima et al. (2014)

Dada la caracterización anterior, se puede determinar qué tipo de desastres afectan en mayor grado a cada clúster con lo que se puede realizar una apropiada distribución de los bienes de ayuda humanitaria ante la variedad de fenómenos que presenta el estado de Santa Catarina (tormentas de viento, granizadas, inundaciones, deslizamientos y sequías principalmente). Sin embargo, los autores recalcan que es importante la planificación y coordinación entre las instituciones involucradas al momento de realizar la distribución de los recursos reunidos de las donaciones y en las etapas previas. Solo de esta forma se puede garantizar que la división por clústeres impacte positivamente a las operaciones de logística humanitaria en este caso (Santos de Lima et al., 2014).

Tabla 7: Distribución de bienes por clúster

Kit	Item	Cluster
1	Drinking water	1, 2, 3 and 4
2	Food parcels of ready products for consumption	2, 3 and 4
3	Food parcels	1, 2, 3 and 4
4	Water treatment products	2, 3 and 4
5	Hygiene products	2, 3 and 4
6	Cleaning products	2, 3 and 4
7	Bedding products for singles	2, 3 and 4
8	Bedding products for couples	2, 3 and 4
9	Tents	2, 3 and 4

Fuente: Santos de Lima et al. (2014)

El uso de estas herramientas genera una mejor respuesta ante los desastres a través de la estandarización de los procedimientos, predicción y colaboración entre las entidades involucradas.

## **Capítulo 3: Análisis de la Situación Actual en el Perú**

A pesar de que los eventos meteorológicos de heladas y friajes son de carácter estacional en el Perú y; por lo tanto, siempre se han desencadenado en determinadas épocas del año, los esfuerzos organizados han evidenciado limitaciones para afrontar esta clase de emergencias que afectan a muchas de las regiones más alejadas y de difícil acceso en el país hasta el 2013. En ese año, se organizó el Primer Plan Multisectorial ante Heladas y Friajes bajo la dirección de la Presidencia del Consejo de Ministros (PCM) y con la contribución de diversos Ministerios. Durante estos primeros años de desarrollo, este plan ha logrado ampliar su alcance cada nuevo periodo, lo cual es prueba de que se desenvuelve de manera correcta; sin embargo, ante el cambio climático, es posible que la intensidad de las heladas y friajes sea mayor en el futuro cercano. Por ello, es necesario replantear algunos aspectos para optimizar la asistencia a las poblaciones vulnerables.

Ante este escenario, es necesario analizar a profundidad el funcionamiento del Plan Multisectorial; de esta manera, se puede determinar cuáles puntos deben ser modificados para mejorar la operatividad ante este tipo de emergencias.

### **3.1. Aspectos del Plan Multisectorial ante Heladas y Friajes**

Como se mencionó anteriormente, la elaboración de este plan anual por el PCM (2017) cuenta con la colaboración de diversos organismos del Estado; por ende, la visión de la problemática resulta bastante amplia y multidisciplinaria, puesto que los efectos perjudiciales producto de estos desastres repercuten en los ámbitos social, educativo y económico de la población principalmente.

Entre las entidades públicas que forman parte de la elaboración del Plan Multisectorial ante Heladas y Friajes se encuentran:

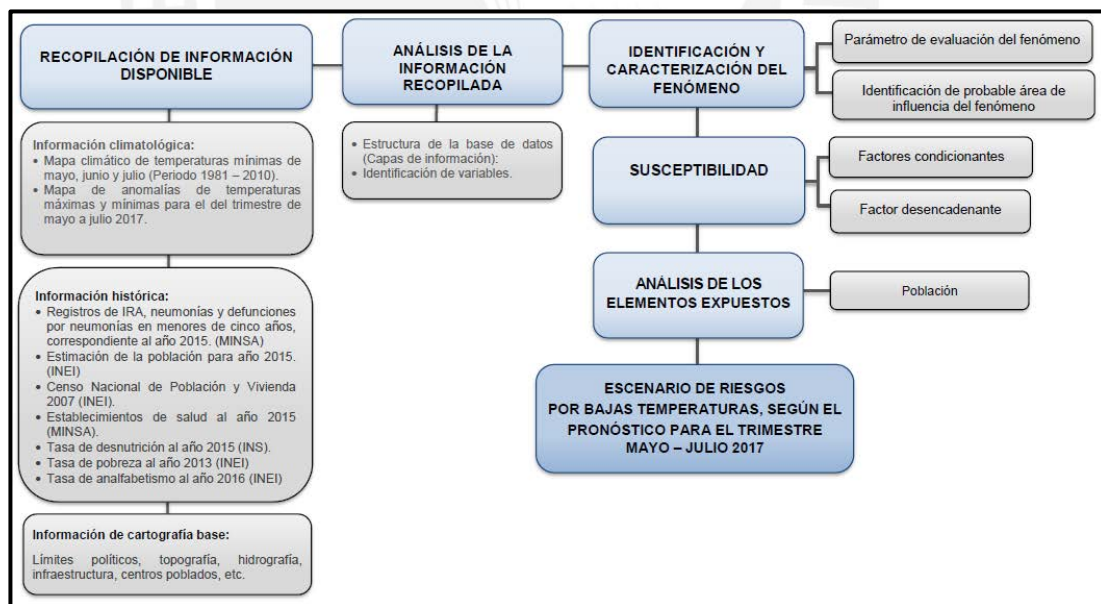
- Presidencia del Consejo de Ministros – Secretaría de Gestión del Riesgo de Desastres
- Ministerio de la Mujer y Poblaciones Vulnerables
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
- Ministerio de Agricultura y Riego
- Ministerio de Educación
- Ministerio de Salud
- Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social

- Ministerio de Energía y Minas
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología-SENAMHI
- Oficina Nacional de Gobierno de Interior - ONAGI
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - CENEPRED
- Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI

### 3.2. Metodología

Para determinar las zonas elegidas para realizar la distribución de bienes ante las heladas y friajes, los organismos antes mencionados realizan estudios, análisis, recopilación de datos y levantamiento de información con el objetivo de estimar la magnitud y ubicación de los escenarios de riesgos ante los fenómenos de bajas temperaturas. La metodología que se empleó para estructurar el Plan Multisectorial de Heladas y Frijes 2017 fue presentada en los Escenarios de Riesgos ante Heladas y Frijes elaborado por el CENEPRED (2016).

Gráfico 6: Diagrama de Flujo para la Determinación de Escenarios de Riesgo por Bajas Temperaturas



Fuente: CENEPRED (2017)

#### 3.2.1. Recopilación de la información disponible

En esta etapa, se procede a recolectar todos los datos, estadísticas, indicadores e información que pueda ser de relevancia para describir los fenómenos de bajas temperaturas y sus efectos.

Para elaborar el Plan Multisectorial de 2017, se recolectaron estudios y estadísticas sobre la frecuencia de heladas y friajes de años anteriores proporcionados por el SENAHMI, indicadores socioeconómicos como índice de pobreza, tasa de analfabetismo y la población estimada, las cuales fueron calculadas por el INEI.

### **3.2.2. Análisis de la información recopilada**

Tras un análisis más a profundidad de toda la información recolectada, se seleccionará solo la fracción de la data relevante, la cual está relacionada a las temperaturas mínimas por región que se han presentado en los últimos años. Así, se determinarán las regiones que presentan una mayor vulnerabilidad ante los desastres mencionados considerando como factor principal el clima extremo.

### **3.2.3. Identificación y caracterización del fenómeno**

En esta fase, se estudia y pronostica el comportamiento de las temperaturas mínimas y máximas durante el periodo de estudio a partir de la información obtenida en las etapas anteriores.

Es necesario realizar el análisis por separado para cada fenómeno y por región (CENEPRED, 2016):

Para las heladas:

Se analiza la temperatura mínima del aire y, para una mayor precisión, se someterá a estudios los datos promedio pertenecientes al Percentil 10 ( $TMP_{10}$ ) por región entre los meses de junio a agosto; es decir, se utilizarán el 10% de las temperaturas más bajas por región en el periodo más crítico para definir el rango adecuado.

De acuerdo con el mapa del Anexo 1 proporcionada por CENEPRED (2016), la distribución del rango de temperaturas se puede presentar de la siguiente forma:

- Sierra Norte: Compuesto por los departamentos de Cajamarca, Piura, Lambayeque, la Libertad y Amazonas, las zonas principales a analizar son aquellas que se encuentran a más de 2500 m.s.n.m. En estas, se encontró que el rango de temperaturas más bajas oscila entre  $-5^{\circ}\text{C}$  a  $-8^{\circ}\text{C}$ , situación presente en provincias de Cajamarca y las regiones de mayor altura de La Libertad a más de 3000 m.s.n.m.
- Sierra central: El rango promedio de bajas temperaturas en los departamentos de Áncash, Lima, Huánuco, Pasco y Huancavelica varía entre  $-14^{\circ}\text{C}$  a  $-17^{\circ}\text{C}$ . Regiones del departamento de Ica presentan un rango más cálido.

- Sierra Sur: Compreendida por los departamentos de Ayacucho, Apurímac, Arequipa, Moquegua, Tacna, Cusco y Puno, presenta las temperaturas más bajas del país. Las zonas entre los límites de Tacna, Moquegua y Puno en el altiplano registran temperaturas por debajo de los  $-17^{\circ}\text{C}$ .

Para los friajes:

Al igual que en las heladas, se analiza la temperatura mínima del aire, pero con la diferencia que se considerarán los datos promedio de las temperaturas mínimas del percentil 5 (TMP<sub>5</sub>). La distribución realizada se puede visualizar en el Anexo 2 proporcionado por CENEPRED (2016), así como los rangos de temperatura mínima en las regiones afectadas:

- Selva Norte: Formada por los departamentos de Loreto, Amazonas, San Martín y zonas de Ucayali, en donde el rango de temperaturas más bajo se encuentra en provincias de Ucayali, las cuales registran entre  $17^{\circ}\text{C}$  a  $19^{\circ}\text{C}$ .
- Selva Centro: Conformado por los departamentos de Huánuco, Pasco, Junín y Ucayali, donde el rango promedio de temperatura mínimo es de  $15^{\circ}\text{C}$  a  $17^{\circ}\text{C}$ ; sin embargo, en las zonas de más de 1000 m.s.n.m. de los departamentos mencionados, se registran temperaturas menores a  $15^{\circ}\text{C}$ .
- Selva Sur: Compuesta por los departamentos de Cusco, Madre de Dios y Puno, el rango de temperaturas varía entre  $15^{\circ}\text{C}$  a  $17^{\circ}\text{C}$ ; no obstante, en ciertas regiones de Cusco y Puno la temperatura puede alcanzar niveles menores a  $15^{\circ}\text{C}$ .

#### **3.2.4. Análisis de susceptibilidad**

Se definen las zonas más propensas a sufrir las consecuencias más severas producto de estos desastres a partir del mapa de ocurrencia de temperaturas mínimas del periodo de estudio principalmente.

Además, para realizar este análisis es necesario identificar los factores condicionantes y desencadenantes de los escenarios de bajas temperaturas a lo largo del país (CENEPRED, 2016).

- Factores Condicionantes

Se consideran los siguientes factores condicionantes de la intensidad de heladas y friajes, debido a que se cuenta con información confirmada de sus efectos:

- Altitud: Las diversas zonas climáticas presentes en el territorio nacional son consecuencia de la presencia de la Cordillera de Los Andes, la cual contribuyó

a la formación de zonas de gran altitud en el país. La altitud y la presencia de bajas temperaturas tienen una relación inversamente proporcional, a mayor altitud, menor temperatura del aire y viceversa (SENAMHI, s.f.).

- Latitud: La latitud se define como el ángulo entre cualquier punto y el ecuador. Los puntos al norte del ecuador llevan la denominación N, mientras que los puntos al sur, la S (Fernández Coppel, 2001). Cuanto más alejado se encuentre un punto del ecuador, menor será la temperatura del aire, lo cual puede ser representado en la Figura 11:

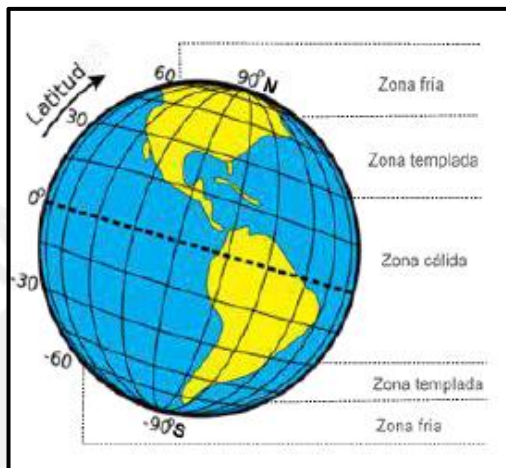


Figura 11: Variación de temperatura según latitud

Fuente: CENEPRED (2016)

- Factores Desencadenantes
  - Temperatura mínima del aire: La temperatura mínima es calculada como el promedio de las menores temperaturas diarias registradas durante el periodo de estudio (Allen, Pereira, Raes & Smith, 1998). Cabe resaltar que para identificar la temperatura mínima diaria del aire necesariamente se debe realizar el registro desde la medianoche hasta completar las 24 horas del día.

### 3.2.5. Análisis de elementos expuestos

Esta etapa, nombrada de esta forma por el CENEPRED, comprende la investigación de todo aquello que puede ser afectado por los eventos de bajas temperaturas. Entre los principales elementos se encuentran la población (incluyendo salud, educación, vivienda, entre otros), las tierras destinadas a actividades agrícolas y ganaderas, los animales principalmente.

Para realizar este análisis, se deben considerar indicadores apropiados que cuantifiquen el nivel de riesgo para los elementos mencionados para determinar la severidad de los efectos de las bajas temperaturas en las regiones afectadas. Los



parámetros fueron propuestos en conjunto con los diversos Ministerios involucrados en la elaboración del Plan Multisectorial ante Heladas y Frijajes (2017).

- Parámetros de evaluación

- a) Índice de Daños a la Salud (IDS):

Este índice se puede desprender en dos variables de gran importancia identificados por el Ministerio de Salud:

- Tasa de mortalidad por neumonía en niños menores a 5 años: Según el MINSA (2017), se refiere a la proporción de niños menores a 5 años fallecidos entre las semanas epidemiológicas 16 a 39 del 2016 de un distrito en específico por cada 100 mil individuos de ese grupo de edad.
- Tasa de incidencia acumulada por neumonía en niños menores a 5 años: Es la proporción de casos nuevos de neumonía en niños menores de 5 años registrados entre las semanas epidemiológicas 16 a 39 del 2016 de un determinado distrito por cada 100 mil habitantes de ese grupo etario (CENEPRED, 2016).

Estos parámetros son ponderados para poder calcular el IDS de cada distrito de los departamentos del país, el cual es representado mediante quintiles en el mapa del Anexo 3. En el mapa, el quintil 1 representa a los distritos con mayor IDS.

- b) Indicador del material predominante en las viviendas (IMPV):

Este indicador considera el material utilizado en los techos, paredes y pisos de las viviendas de acuerdo a la región que pertenece un determinado distrito. Para esto, se presentan las siguientes categorías más críticas (MIDIS, 2015):

- Techo de calamina (sierra), hojas de palma (selva) o categorías menores
- Pared de adobe o con categorías menores
- Piso de tierra

En el Anexo 4, se muestra la distribución por quintiles de este indicador entre los distritos afectados por heladas y friajes. El Quintil 1 representa los distritos con la mayor cantidad de viviendas que presentan materiales precarios que no garantizan un confort térmico.

- c) Porcentaje de instituciones educativas con escasa capacitación:

Este parámetro evalúa la proporción de Instituciones Educativas que por encontrarse en localidades alejadas o de difícil acceso se puede asumir que no están correctamente capacitadas para afrontar las consecuencias de las heladas y friajes, puesto que el costo para realizar capacitaciones resulta muy alto (CENEPRED, 2016).

En el Anexo 5, se muestra la distribución por quintiles de este indicador. El Quintil 1 representa los distritos con la mayor cantidad de instituciones educativas con escasa capacitación.

d) Incidencia de la pobreza:

Los niveles de pobreza en la población indican la capacidad para acceder a bienes o servicios básicos, así como la adquisición de una canasta básica alimentaria (INEI, 2017). Por ello, mientras mayor sea este indicador, las condiciones que puedan tener los afectados para sobrellevar los efectos de las heladas y friajes serán menores.

Con la ayuda de información y datos provenientes del Empadronamiento Distrital de Población y Vivienda 2012-2013 (SISFHO) y la Encuesta Nacional de Hogares 2012-2013 se pueden identificar los distritos con una mayor incidencia de pobreza, lo cual se ve reflejado en el Anexo 6. Cabe indicar que el Quintil 1 representa los distritos con la mayor incidencia de la pobreza a nivel nacional.

e) Tasa de desnutrición crónica en niños menores a 5 años:

La desnutrición crónica infantil se refiere a la imposibilidad de que los niños alcancen las estaturas promedio esperadas para su edad y sexo respectivos. Estas medidas se obtienen a partir de patrones definidos por instituciones expertas en la materia como la Organización Mundial de la Salud. Algunos de los factores que ocasionan la desnutrición crónica infantil son la falta de ingesta de alimentos necesarios para el crecimiento, la carencia de servicios básicos de saneamiento o una alta frecuencia de padecimiento de enfermedades relacionadas a la falta de alimentos (MIDIS, 2017).

Con estos datos, se puede obtener la distribución de departamentos con mayor tasa de desnutrición crónica infantil en el Perú, la cual es representada en el Anexo 7, donde el Quintil 1 representa los distritos con la mayor tasa de desnutrición infantil.

f) Tasa de analfabetismo:

La tasa de analfabetismo es la proporción de personas que no sabe leer ni escribir y que tienen 15 años a más. La evaluación se hace de acuerdo al grupo de edad de las personas (INEI, 2018).

La distribución según departamentos se muestra en el Anexo 8, donde el Quintil 1 representa los distritos con la mayor tasa de analfabetismo en los distritos de los departamentos analizados.

### **3.2.6. Identificación de escenarios de riesgo de bajas temperaturas**

Finalmente, la última fase de acuerdo a la metodología del CENEPRED (2016) emplea los factores de susceptibilidad (ligados a las mediciones de temperaturas mínimos por distrito) y elementos expuestos para determinar los distritos que resultarán más afectados por las heladas y friajes. Mediante una multiplicación entre los valores de los factores de susceptibilidad y exposición se obtiene el Nivel de Riesgo Distrital, el cual es clasificado en categorías que varían de Bajo a Muy Alto. Finalmente, de todos los distritos analizados, se priorizarán aquellos que presenten mayores factores de riesgo. En estas situaciones, el Estado apoya del Programa Nacional de País (ex Programa Nacional Tambos), que se encarga de brindar servicios sociales a las comunidades más alejadas.

De esta manera, el mapa de distritos priorizados para el 2017 se muestran en el Anexo 9 y el listado de los mismos se presentan en el Anexo 10. Estos distritos son actualizados cada año de acuerdo a los nuevos valores de los indicadores presentados anteriormente.

### **3.3. Rol de Actividades de Entidades Participantes**

A las diversas instituciones participantes en el Plan Multisectorial de Heladas y Friajes se les asignan una serie de actividades y labores a realizar para poder cumplir con los objetivos trazados inicialmente. Además, es importante que todos los involucrados conozcan sus responsabilidades y de los demás, así, no se malgastarán esfuerzos y recursos en ciertas actividades y se mejorará la coordinación.

Por lo tanto, a continuación, se describen brevemente las acciones que corresponden a las entidades más importantes dentro del Plan Multisectorial (2017):

#### **3.3.1. Ministerio de la Mujer y Poblaciones Vulnerables (MIMP)**

Por designación del Estado, la principal labor que tiene a su cargo el MIMP es la “Disposición de Kits de Abrigo ante efectos de bajas temperaturas”. Esta distribución será realizada por el MIMP a 182 de los 241 distritos priorizados en el Plan Multisectorial (2017) y se enfocará en la entrega al total de niños menores de 5 años

y a adultos mayores de 65, puesto que son los más afectados por estos desastres. Para poder completar esa tarea, deberá completar las siguientes acciones descritas en el Plan Multisectorial (2017):

- Realizar el pedido de compra de los kits de abrigo y de los servicios necesarios mediante la Oficina de Defensa Nacional del MIMP. Se presenta en la Tabla 8, la composición de los kits de abrigo:

Tabla 8: Demanda de Tipos de Kits de Abrigo

Niños de 00 hasta 12 meses	Niños de 12 meses hasta 24 meses	Niños de 2 años hasta 3 años	Niños de 3 años hasta 5 años	Adulto mayor desde 65 años a más	TOTAL GENERAL
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 01 Enterizo en polar.</li> <li>✓ 01 Manta en polar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 01 Enterizo en polar.</li> <li>✓ 01 Manta en polar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 01 Buzo polar</li> <li>✓ 01 Par de Medias</li> <li>✓ 01 Par de botas de PVC.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 01 Buzo polar</li> <li>✓ 01 Par de Medias.</li> <li>✓ 01 Par de botas de PVC.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 01 Buzo franela de algodón en dos piezas.</li> <li>✓ 01 Par de Medias.</li> <li>✓ Frazada 1 ½ plaza</li> </ul>	
25,465	25,896	26,276	53,464	83,591	214,692

Fuente: MIMP (2017)

- A través de su Oficina de Abastecimiento y Servicios, llevar a cabo la selección para la contratación y distribución de los kits de abrigo.
- Planificar y monitorear la correcta provisión de kits de abrigo a los distritos designados y a la población objetivo.
- Empadronar, a través de los formatos correspondientes del MIMP a la población vulnerable que posteriormente recibirá kits de abrigo. Actividad realizada conjuntamente con la red de Prefectos y Sub Prefectos de la Oficina Nacional de Gobierno Interior (ONAGI).
- Entregar los kits de abrigo en los Tambos o Locaciones determinadas por los Prefectos y Sub Prefectos de la ONAGI.

### 3.3.2. Ministerio de Educación (MINEDU)

Las principales tareas del MINEDU se encuentran orientadas brindar una mayor capacitación a las autoridades escolares sobre cómo actuar ante esta clase de eventos, así como asegurar la continuidad de las actividades escolares en los meses en los que se suelen presentar las heladas y friajes. Para esto, es importante la realización de las siguientes labores (MINEDU, 2017):

- Dictado de Talleres de Fortalecimiento de Capacidades ante Eventos de Bajas Temperaturas dirigido a directores y expertos de las Direcciones Regionales de Educación y Unidades de Gestión Educativa Local.

- Distribución de Kits Pedagógicos de Respuesta Educativa a Emergencias a Instituciones Educativas, asistencia técnica para la aplicación de soporte socioemocional y actividades pedagógicas ante bajas temperaturas.
- Evaluación y determinación de Instituciones Educativas más vulnerables ante eventos de bajas temperaturas en coordinación con PREVAED y PRONIED.
- Distribución e instalación de 200 aulas prefabricadas ante heladas y pararrayos en las Instituciones educativas antes identificadas.

Tabla 9: Aulas prefabricadas y pararrayos designados en los distritos priorizados

REGION	Nº DE LOCALES ESCOLARES	Nº AULAS PREFABRICADAS DESTINADAS	Nº PARARRAYOS
APURIMAC	6	11	6
AYACUCHO	2	2	2
CUSCO	18	30	18
HUANCAVELICA	4	4	4
HUANUCO	5	13	5
JUNIN	5	5	5
PASCO	3	10	3
PUNO	88	125	88
<b>TOTAL</b>	<b>131</b>	<b>200</b>	<b>131</b>

Fuente: MINEDU (2017)

- Realizar y monitorear el acondicionamiento térmico de Escuelas Seguras ante bajas temperaturas en los distritos priorizados ante estos eventos en coordinación con el PRONIED, encargada de la creación de expedientes de los trabajos a realizar en las Instituciones Educativas, y la Oficina de Abastecimiento, la cual realiza los procesos de selección para los servicios de acondicionamiento.

### 3.3.3. Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI)

Las principales labores del MINAGRI son la de adquisición, almacenamiento y distribución de paquetes de ayuda humanitaria través de la unidad ejecutora AGRORURAL (MINAGRI, 2017). Dichos paquetes se dividen en las siguientes variedades descritas en el Plan Multisectorial (2017):

- Kit Veterinario: Conformado por un conjunto de medicamentos para un máximo de 100 animales entre camélidos y ovinos distribuidos para evitar las pérdidas animales y reforzar su sistema inmunológico ante las bajas temperaturas en las zonas alto andinas. Se pueden encontrar vitaminas, antibióticos, antiparasitarios e instrumentos médicos básicos. Todos estos elementos, a su vez, son repartidos en dos tandas:

- Componente preventivo: En esta entrega, se reparten vitaminas de fortalecimiento ante las temperaturas extremas y antibióticos orales de uso frecuente; además, se llevan a cabo desparasitaciones dos veces al año. La primera después de la temporada de lluvias, entre abril y mayo, y la segunda antes del comienzo de las lluvias entre octubre y diciembre.
- Componente reactivo: Incluye antibióticos, vitaminas para el fortalecimiento de los animales y medicinas reconstituyentes. Este componente es distribuido de acuerdo al Informe Técnico y Padrón de Afectados elaborado por las Agencias Zonales. Estos documentos registran los daños e inconvenientes de los agricultores para determinar aquellos a los que se les entregará el kit.

La primera entrega de insumos se realiza en las denominadas jornadas ganaderas, en las cuales los productores se acercan con su ganado para recibir la dosificación adecuada para sus animales. La organización y convocatoria de las jornadas es labor de la Organización de Productores Agrarios (OPA) en coordinación con las brigadas de AGRORURAL de acuerdo a las fechas programadas.

Es importante recalcar que en estas jornadas solo se realiza la entrega de los kits, mas no la aplicación de los mismos a los animales de los agricultores; por ende, la adecuada dosificación de los medicamentos es total responsabilidad de los beneficiarios.

- Kit de Alimento: Compuesto por alimentos suplementarios para ganado entre los cuales se pueden encontrar pacas de heno, alimento balanceado e insumos alimenticios para mezclas como pancamel o melaza. Es recomendable que estos paquetes sean administrados conjuntamente con las vitaminas y reconstituyentes del kit veterinario para que el fortalecimiento sea mayor y preferiblemente entre junio y setiembre, época en la que se presenta escasez de pasto para el ganado.

La entrega de alimentos se realizará en los lugares determinados por la Agencia Zonal y bajo previa evaluación de las necesidades y condiciones de los agricultores identificados en mayor riesgo.

- Kit de Abono Foliar: Consiste en cuatro litros de abono foliar por hectárea, el cual debe ser utilizado durante el desarrollo fenológico de los cultivos para mejorar su capacidad de recuperación ante las heladas o granizadas, así como también apoya en la etapa de floración y maduración a determinados cultivos.

La Agencia Zonal se encargará de evaluar y determinar los productores aptos para recibir el kit de abono foliar, los cuales serán entregados únicamente a los productores identificados en el Padrón de Productores Afectados por Heladas.

- Kit de Semillas de Cultivos: Conformado por un grupo de semillas entre las que se encuentran principalmente la cebada, trigo, arveja, haba, olluco y maíz. Estas son entregadas exclusivamente a los productores que resultaron afectados por pérdida de cultivos en el año anterior.
- Kit de Semillas de Pastos: Comprende la entrega de semillas de pasto cultivado a aquellos agricultores que padecieron pérdidas de ganado anteriormente. De esta manera, se pueden dedicar a la cultivación de heno para sus animales. Entre las semillas que componen el kit se encuentran: semilla de avena forrajera, vicia villosa y alfalfa principalmente.

Asimismo, los agricultores reciben asesoría respecto a al correcto uso de los insumos entregados. La distribución de los kits se realizará a través del OPA y bajo presencia de personal de AGRORURAL.

#### **3.3.4. Ministerio de Salud (MINSA)**

El listado de actividades bajo la responsabilidad del MINSA se presenta a continuación (MINSA, 2017):

- Asegurar el confort térmico en los establecimientos de salud priorizados mediante el mantenimiento preventivo y correctivo.
- Adquisición y distribución de vacunas para tratar el neumococo e influenza a la población más vulnerable como niños, embarazadas y adultos mayores, así como garantizar la disponibilidad de medicinas y equipos médicos.
- Difusión de mensajes de promoviendo la prevención y métodos para evitar enfermedades respiratorias durante los eventos de bajas temperaturas.
- Vigilancia epidemiológica ante posibles brotes de neumonía durante la época más crítica, así como mantener brigadas de emergencia para posibles desplazamientos a nivel nacional.

#### **3.3.5. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS)**

El aporte del MVCS al Plan Multisectorial ante Heladas y Friajes se realiza a través de su Programa Nacional de Vivienda Rural, cuyo objetivo es brindar confort térmico a las viviendas mediante la reconstrucción y reforzamiento de las viviendas de pobladores que se encuentran en situación de pobreza o pobreza extrema.

Asimismo, ayuda a evitar situaciones de hacinamiento y proporciona seguridad estructural para afrontar adecuadamente los eventos de bajas temperaturas (MVCS, 2017).

### **3.3.6. Ministerio de Energía y Minas (MINEM)**

Para el 2017, el MINEM tiene previsto realizar 5 proyectos en su Programa de Electrificación Rural en los departamentos de Huánuco, Puno y Cusco. La finalidad de estos proyectos es reducir la pobreza y la vulnerabilidad al brindar a las poblaciones la posibilidad de acceder al servicio básico de electricidad en la vivienda, aumentando así, la igualdad entre las personas y apoyando al desarrollo de las sociedades (MEF, 2017).

### **3.3.7. Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC)**

Los proyectos establecidos para 2017 relacionados al Plan Multisectorial ante Heladas y Frijoles (2017) y que se encuentran dentro del presupuesto elaborado por el MEF (2017) son los siguientes:

- Mantenimiento periódico del camino vecinal hacia el Tambo Cota Cota en la Provincia de Caylloma, Arequipa.
- Estudio definitivo de ingeniería para la rehabilitación de caminos vecinales hacia el Tambo Anccasi, Cusco.

Estos proyectos se realizarán a través de Provias Descentralizado y están programados para finalizar en el transcurso del 2017.

### **3.3.8. Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social (MIDIS)**

La participación del MIDIS se realizará a través de distintos programas sociales orientados a brindar atención a las poblaciones que se encuentran en situación de pobreza y pobreza extrema que son considerados más vulnerables ante los eventos de bajas temperaturas (MIDIS, 2018). Entre los programas mencionados se encuentran:

- Programa Nacional País: Es una plataforma que permite acercar los bienes y servicios del Estado en materia social y productiva a las poblaciones rurales y rurales dispersas en condiciones de pobreza y pobreza extrema a nivel nacional. Para el caso específico de heladas y frijoles, se han destinado 69 Tambos que apoyarán en las actividades de mitigación de riesgo entre las cuales se encuentran las siguientes (Programa Nacional País, 2018):



- Prestación de servicios de alojamiento, almacén temporal, plataforma de comunicaciones con acceso satelital a internet, salas de usos múltiples y acciones de coordinación convocatoria y monitoreo de las actividades relacionadas a la Gestión de Desastres.
  - Difusión de las redes de coordinación de apoyo y comunicación
  - Comunicación de los eventos climatológicos que afectan a las poblaciones en el rango de acción de los Tambos; así como también la comunicación de noticias relacionadas a estos eventos para ejercer un correcto monitoreo.
  - Mantenimiento de la plataforma de comunicación de los Tambos priorizados.
  - Fortalecimiento de las capacidades del equipo territorial en gestión ante heladas y friajes.
  - Asistencia técnica y monitoreo a los gobiernos locales para garantizar el fortalecimiento de capacidades de la población expuesta ante bajas temperaturas.
- Programa Nacional CUNA MÁS: Programa enfocado en mejorar el desarrollo infantil de niños menores de 3 años pertenecientes a la población en pobreza y pobreza extrema con el objetivo de disminuir las diferencias en su desarrollo cognitivo, social, físico y emocional (MIDIS, 2017).

El aporte de este programa en el Plan Multisectorial ante Heladas y Frijes se realiza mediante la distribución de kits de promoción de prácticas en situación de emergencia y el mejoramiento de locales de cuidado diurno.

- Programa Haku Wiñay/Noa Jayatai: Programa orientado a desarrollar alternativas en contra de problemas relacionados a la inclusión económica. El programa realiza acciones enfocadas en que las poblaciones más vulnerables se incorporen a las economías regionales mediante actividades de desarrollo productivo que les generarán ingresos (FONCODES, 2017).

Para el caso de heladas y friajes, el programa proveerá a los distritos priorizados con cocinas mejoradas, bidones con grifo y tetera para agua potable.

- FONCODES: Programa dedicado a la generación de oportunidades económicas sostenibles para las poblaciones rurales en pobreza extrema del país mediante la articulación entre los demandantes de servicios y la oferta de bienes y servicios ofrecidos por las personas de estos hogares. De esta manera, se fomenta la inclusión en el sistema económico a estas poblaciones necesitadas.

Parte de las actividades que este programa realiza ante las heladas y friajes es el acondicionamiento de viviendas de las poblaciones en pobreza extrema en los distritos priorizados por su alto nivel de riesgo y vulnerabilidad ante estos eventos (FONCODES, 2017).

### **3.3.9. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAHMI)**

Las actividades a cargo del SENAHMI según el Plan Multisectorial ante Heladas y Friajes (2017) y que se encuentran en el presupuesto estatal (MEF, 2017) se detallan a continuación:

- Instalación de 240 termohigrógrafos digitales para la recopilación de información de temperatura del aire y humedad.
- Dictado de talleres
- Vigilancia y difusión de alarmas meteorológicas sobre heladas y friajes a nivel nacional
- Elaboración de mapas de bajas temperaturas para la evaluación de escenarios de riesgo

### **3.3.10. Oficina Nacional de Gobierno Interior (ONAGI)**

La ONAGI se encarga principalmente de distribución de los kits de abrigo y de las coordinaciones y capacitaciones de la red de Autoridades Políticas. Para ello, es necesario llevar a cabo las siguientes actividades de acuerdo a lo estipulado por INDECI (2017) y el Plan Multisectorial (2017):

- Realizar capacitaciones a las Autoridades Políticas que pertenezcan a los distritos de los departamentos contemplados dentro del Plan sobre los alcances, participación y estrategias que deben llevarse a cabo adecuadamente.
- Convocar a las Autoridades Políticas para la preparación del padrón de la población beneficiada para el presente año. Se debe considerar la información recolectada en los distritos frecuentemente afectados y la proporcionada por otros programas nacionales o instituciones como los centros de salud, INEI o el Programa Nacional Tambos.
- Almacenamiento, traslado y distribución de los kits de abrigo a la población beneficiada antes definida. Asimismo, se encarga de realizar la convocatoria para que los beneficiarios se acerquen a recoger sus respectivos kits.

- Definir conjuntamente con el MIMP las coordinaciones requeridas a través de las Autoridades Políticas de los distritos priorizados.

### 3.4. Evolución de los Principales Indicadores

En esta sección, se mostrarán cómo han variado los indicadores principales relacionados a los parámetros de evaluación de la susceptibilidad ante heladas y friajes, así como estadísticas generales sobre el impacto de estos eventos y la distribución de ayuda humanitaria realizada.

#### 3.4.1. Ocurrencia de Eventos de Bajas Temperaturas

Según el INDECI (2016), en comparación con otros desastres que ocurren en el Perú, los eventos de bajas temperaturas, los cuales incluyen las heladas y friajes, ocupan el cuarto lugar entre los fenómenos más frecuentes durante el periodo 2003 – 2015 con 7088 ocurrencias como lo demuestra la Tabla 10:

Tabla 10: Ocurrencia de desastres en el Perú (2003 – 2015)

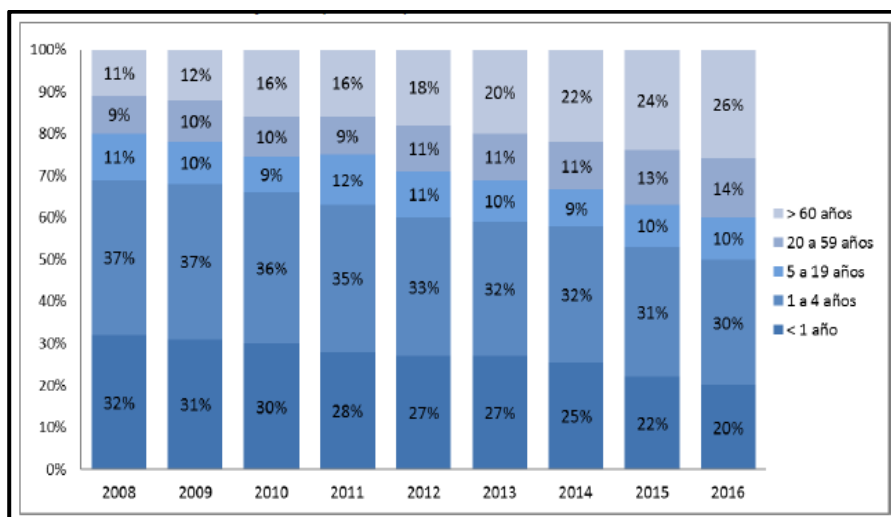
FENOMENO	TOTAL	AÑOS												
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>56,689</b>	<b>3,316</b>	<b>4,038</b>	<b>4,773</b>	<b>4,495</b>	<b>4,536</b>	<b>4,545</b>	<b>4,037</b>	<b>4,535</b>	<b>4,816</b>	<b>5,127</b>	<b>4,379</b>	<b>3,770</b>	<b>4,322</b>
ACTIVIDAD VOLCÁNICA	34		1		9	2	3	2				2	12	3
ALUD	91	5	7	15	5	2	5	6	13	6	8	6	4	9
BAJAS TEMPERATURAS	7,088	124	573	414	239	866	493	468	548	493	582	867	510	911
CONTAMINACIÓN	63	2	8	6	2	3	2	2	13	9	5	4	3	4
DERRAME DE SUSTANCIAS PEL	30	6	5	4	2		1		3	2	3		2	2
DERRUMBE	965	52	19	61	160	67	68	99	78	104	59	45	69	84
DESPLAZAMIENTO	1,930	147	101	100	161	141	170	139	126	144	151	137	185	228
EPIDEMIAS	111	2	19	7	6	6	8	2	5	7	18	9	4	18
EROSIÓN	285	28	44	28	18	16	1	19	21	38	19	14	17	22
EXPLOSIÓN	60	8	7	4	8	3	5	1	4	5	2	4	2	7
HUAYCO	1,388	197	126	130	202	133	100	79	80	60	94	48	46	93
INCENDIO FORESTAL	595	23	6	66	22	7	46	22	53	26	110	94	47	73
INCENDIO URB. E INDUST.	17,903	1,182	1,559	1,996	1,776	1,425	1,549	1,314	1,475	1,450	1,361	1,054	916	846
INUNDACIÓN	4,484	543	264	317	432	457	412	343	270	319	478	224	157	268
LLUVIA INTENSA	11,786	330	429	405	746	525	900	827	1,138	1,464	1,676	1,229	1,002	1,115
MAREJADA	93	6	2	3	12	2	1		9	24	10	4	7	13
PLAGAS	266		3	1	1	9	1		5	2	2	18	219	5
SEQUÍA	638	5	215	224	74	23	4		12	12	12	5	27	25
SISMO (*)	737	25	10	256	32	200	24	8	18	40	27	32	36	29
TORRENTA ELECTRICA	185	11	13	15	34	25	10	9	14	7	6	9	13	19
VIENTOS FUERTES	7,731	589	597	705	544	620	733	692	639	596	490	557	489	480
OTROS	226	31	30	16	10	4	9	5	11	8	14	17	3	68

Fuente: INDECI (2016)

#### 3.4.2. Distribución de los Casos de Neumonía por Grupos de Edades

De acuerdo a la edad de la persona, la vulnerabilidad que esta presenta ante la neumonía puede variar. En el Plan Multisectorial, se prioriza la atención a los niños menores a cinco años y a los adultos mayores de 60. A continuación, se muestra la distribución de esta enfermedad según rangos de edades en el Gráfico 7:

Gráfico 7: Distribución de los episodios de neumonía por rango de edades (2008 – 2016)



Fuente: CENEPRED (2016)

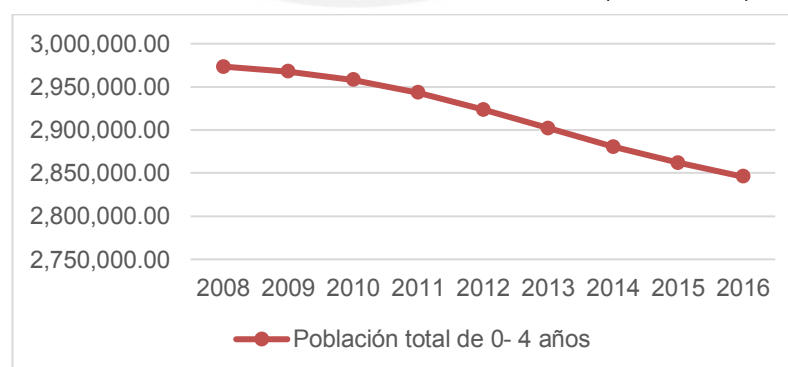
De acuerdo con esta información, se observa que el porcentaje de casos de neumonía para los niños menores de cinco años ha disminuido en el periodo de análisis; en cambio, para los adultos mayores a 60 años, cada vez un mayor porcentaje de este grupo se ve afectado por esta enfermedad.

Sin embargo, la población total de estos grupos varía en el periodo de estudio, por lo que se debe analizar la magnitud de esos conjuntos para conocer si es que la proporción afectados por neumonía realmente aumenta entre 2008 y 2016.

### 3.4.3. Población Total de los Grupos Priorizados

Como se mencionó anteriormente, es importante para el análisis determinar la población de los grupos de interés para conocer la forma en la que la neumonía los ha afectado en el periodo escogido.

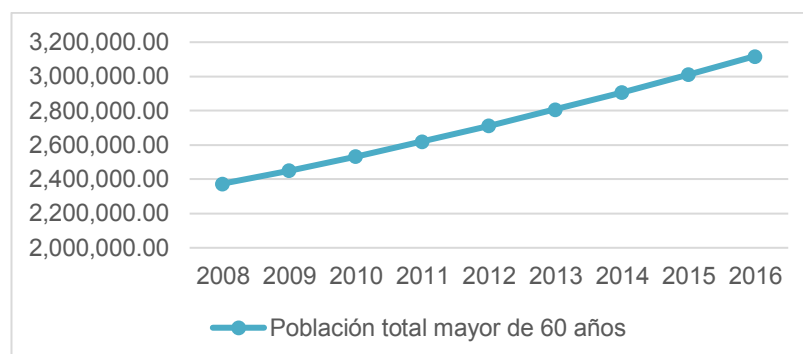
Gráfico 8: Población Total de Niños de 0 – 4 años (2008 – 2016)



Fuente: INEI (2017)

Con el Gráfico 8, se demuestra que la población menor a cinco años disminuye durante todos los años del periodo de análisis; por ende, se puede confirmar que la proporción en este grupo de edad también se reduce en los años 2008 – 2016.

Gráfico 9: Población Total de Adultos mayores a 60 años (2008 – 2016)



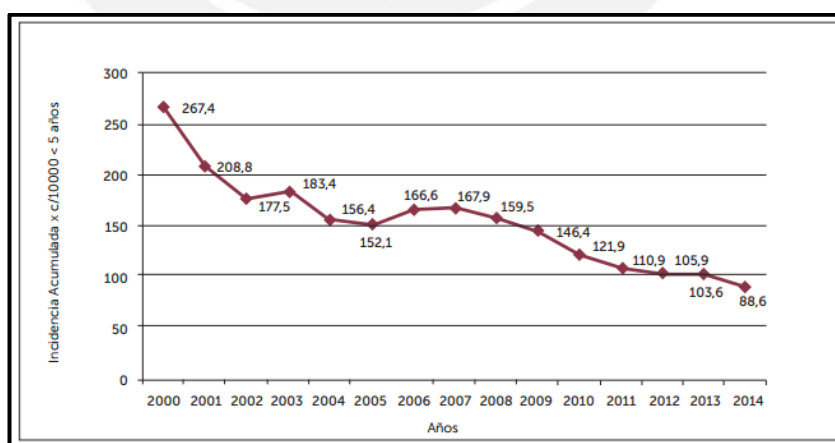
Fuente: INEI (2017)

A diferencia de los niños menores a cinco años, la población de adultos mayores a 60 años ha ido en aumento en el periodo de análisis; por lo tanto, también se confirma que la proporción de este grupo afectadas por neumonía es mayor cada año.

#### 3.4.4. Tasa de Incidencia Acumulada de Neumonía en Niños Menores a 5 Años

Este indicador es uno de los que forma parte del parámetro Índice de Daños a la Salud (IDS) mencionado anteriormente. Según los registros del MINSA a nivel nacional en el periodo 2000 – 2014, la variación ha sido la siguiente:

Gráfico 10: Tasa de Incidencia Acumulada de Neumonía por cada 10 mil en niños menores a 5 años (2000-2014)



Fuente: Padilla, Espíritu, Rizo-Patrón y Medina (2016)

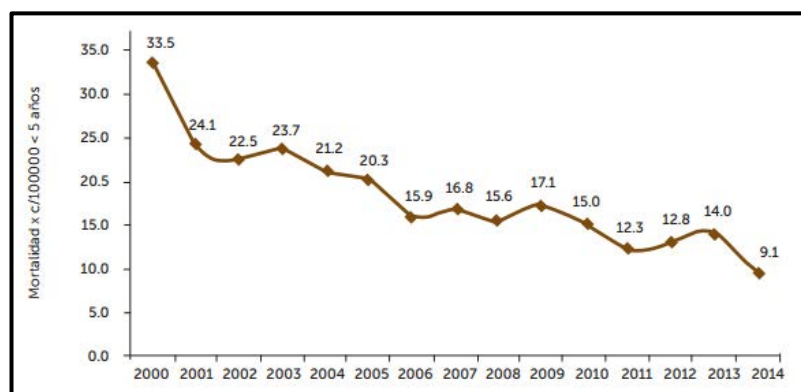
Como se puede observar del Gráfico 10, el indicador ha ido disminuyendo en el periodo de análisis desde el 2007. A partir del 2013, año en el que se implementó el

primer Plan Multisectorial ante Heladas y Frijales, la tendencia fue la misma, incluso se registró un considerable descenso en el 2014.

### 3.4.5. Tasa de Mortalidad por Neumonía en Niños Menores a Cinco Años

Este es el segundo de los indicadores que forman parte de la formulación del parámetro Índice de Daños a la Salud (IDS). Al igual que la Tasa de Incidencia, se presenta la variación de este indicador en el periodo 2000 – 2014.

Gráfico 11: Tasa de mortalidad por neumonía por cada 10 mil en niños menores a cinco años



Fuente: Padilla et al. (2016)

A diferencia de la Tasa de Incidencia Acumulada, la Tasa de Mortalidad por Neumonía presenta subidas y bajadas frecuentes; sin embargo, su valor aún tiende a la baja y en el 2014 presenta una disminución considerable.

### 3.4.6. Índice de Pobreza

El Índice de Pobreza también es un parámetro incluido en la determinación de los distritos priorizados según el Plan Multisectorial ante Heladas y Frijales (2017). A nivel nacional, la evolución de este indicador se presenta en el Gráfico 12:

Gráfico 12: Índice de incidencia de pobreza 2007-2016



Fuente: INEI (2017)

En el periodo 2007 – 2016, se puede observar que el Índice de Incidencia de Pobreza ha disminuido apreciablemente; sin embargo, no se distingue cuáles son los departamentos que presentan un mayor índice de pobreza ni la magnitud de este.

Estos resultados pueden evidenciar que posiblemente la población nacional puede tener un menor riesgo a sufrir consecuencias producto de las heladas y friajes; no obstante, es necesario analizar los demás indicadores para realizar tal afirmación.

#### **3.4.7. Departamentos con Mayor Índice de Pobreza**

De acuerdo con las estadísticas incluidas en el Anexo 11, los departamentos del Perú que en los últimos años han presentado un nivel mayor de este indicador son los siguientes: Cajamarca, Huancavelica, Amazonas, Apurímac, Ayacucho, Loreto, Huánuco, Pasco y Puno.

Estos departamentos presentan un Índice de Pobreza que varía desde más de 30 hasta valores superiores a los 50, que resultan mayores al promedio nacional. Históricamente, los pobladores de esas regiones han sido los más vulnerables ante eventos de heladas y friajes.

#### **3.4.8. Tasa de Desnutrición Crónica en Niños Menores a Cinco Años**

La desnutrición en los niños menores a cinco años es otros de los indicadores que determinan la vulnerabilidad de la población ante eventos desastrosos como los producidos por las heladas y friajes. A continuación, el Gráfico 13 presenta la evolución de este parámetro en los últimos años a nivel nacional:

Gráfico 13: Tasa de desnutrición crónica en niños menores a cinco años 2009 - 2016



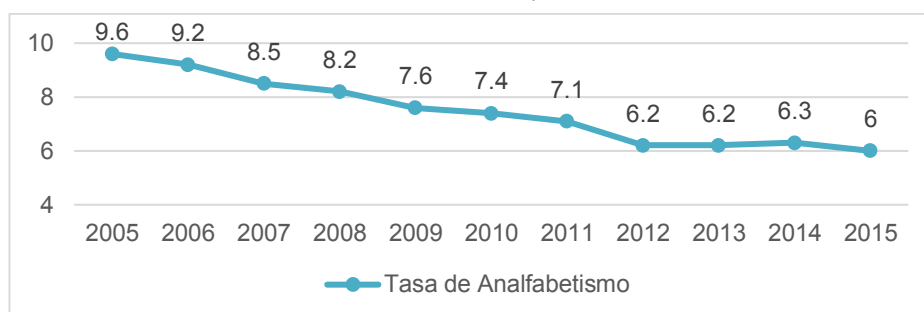
Fuente: INEI (2017)

Como se puede apreciar, la desnutrición crónica en niños menores a cinco años ha disminuido en el periodo de análisis, con lo cual se puede plantear que la vulnerabilidad respecto a este indicador es menor en la población que puede ser afectada por los efectos de las heladas y friajes.

### 3.4.9. Tasa de Analfabetismo

Finalmente, el último parámetro contemplado en la determinación de los distritos priorizados para el Plan Multisectorial presenta el siguiente comportamiento durante los años 2005- 2015:

Gráfico 14: Tasa de analfabetismo en mayores a 15 años (2005 – 2015)



Fuente: INEI (2017)

La tasa de analfabetismo también presenta una tendencia de baja en el periodo 2005 – 2015, por ello, la vulnerabilidad respecto a este indicador también se debió reducir.

### 3.4.10. Cantidad de Personas Afectadas y Damnificadas

Luego de analizar rápidamente los principales indicadores que influyen en el nivel de vulnerabilidad de la población ante los eventos de bajas temperaturas, se presentarán el número de personas que fue afectada por estos fenómenos en el periodo 2003 – 2015 y confirmar si es que la disminución de los indicadores a nivel nacional conlleva una reducción de la población perjudicada.

Gráfico 15: Cantidad de personas afectadas y damnificadas por bajas temperaturas (2003- 2015)

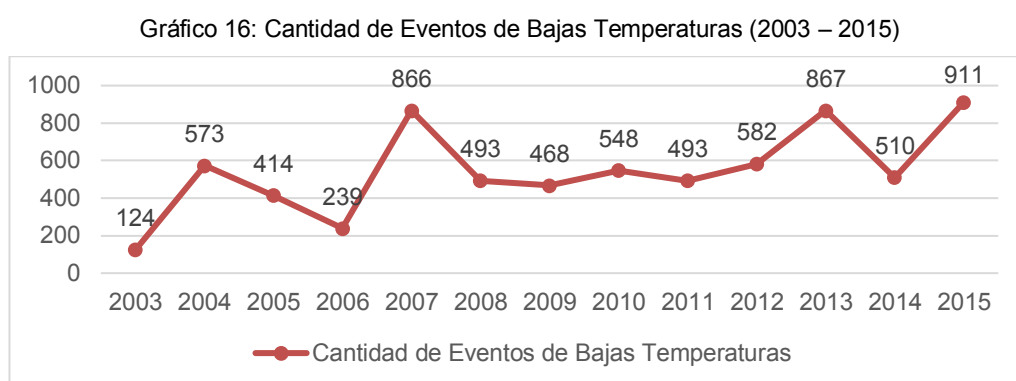


Fuente: INDECI (2016)

En el Gráfico 15, no se evidencia una disminución de las personas afectadas y damnificadas a lo largo de los años analizados, sino que su magnitud depende de la



cantidad de eventos de bajas temperaturas que ocurrieron en el periodo mencionado, como se muestra en el Gráfico 16:



Fuente: Plan Multisectorial ante Heladas y Frijas (2017)

Se puede observar que el número de eventos de bajas temperaturas es bastante variable y su comportamiento sugiere que influye en la cantidad de personas afectadas y damnificadas mostradas en el Gráfico 15. Además, se identifica que en el 2015 este indicador alcanzó su pico máximo con 911 ocurrencias al igual que la población perjudicada y damnificada con 817,740 personas.

### 3.4.11. Viviendas y Hectáreas Afectadas y Destruídas

Las heladas y friajes no solo afectan a la población, sino también a sus hogares y terrenos de cultivo que representan el principal medio de sustento económico de las personas más vulnerables ante estos desastres; por ello, se presenta la Tabla 11, la cual muestra un resumen con la cantidad de viviendas y hectáreas afectadas y destruidas en el periodo 2003 – 2015.

Tabla 11: Tabla de viviendas y hectáreas afectadas y destruidas por bajas temperaturas 2003 - 2015

AÑOS	TOTAL BAJAS TEMPERATURAS	PERSONAS AFECT Y DAMNIF	VIVIENDAS AFECT Y DESTRUID	HAS CULTIVO AFECT Y PERDIDAS
<b>TOTAL</b>	<b>7,088</b>	<b>5,011,318</b>	<b>83,370</b>	<b>547,314</b>
2003	124	48,912	3,113	2,166
2004	573	468,362	5,305	141,090
2005	414	253,172	7,378	12,939
2006	239	111,983	982	5,181
2007	866	735,495	4,171	30,761
2008	493	519,169	1,277	79,338
2009	468	554,080	2,931	1,152
2010	548	254,713	1,651	7,149
2011	493	311,063	3,157	16,183
2012	582	284,509	13,805	38,588
2013	867	522,147	17,657	18,624
2014	510	129,973	2,021	34,207
2015	911	817,740	19,922	159,936

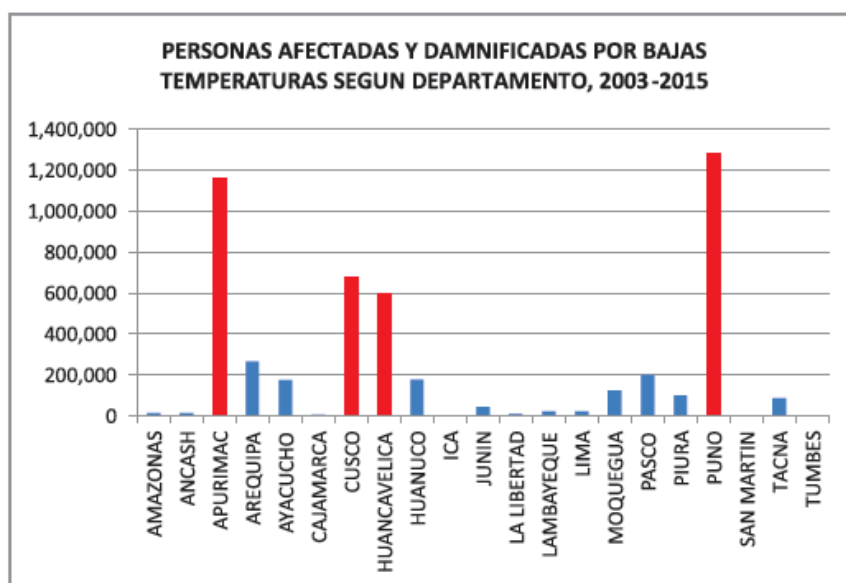
Fuente: INDECI (2016)

Al igual que la cantidad de personas afectadas y damnificadas, el número de viviendas y hectáreas afectadas y destruidas presenta una alta relación con la cantidad de eventos de bajas temperaturas registrados en el periodo 2003 – 2015, en particular el 2015 alcanzó su pico más alto.

### 3.4.12. Departamentos más Afectados

Dada la situación que se ha presentado en los últimos años, los departamentos cuya población ha sufrido por los efectos de heladas y friajes se muestran en el Gráfico 17:

Gráfico 17: Departamentos con población más afectada por bajas temperaturas 2003 - 2015



Fuente: INDECI (2016)

Entre los departamentos más afectados se encuentran Puno, Apurímac, Cusco y Huancavelica, los cuales a su vez ocupan, frecuentemente, los últimos lugares en los indicadores de pobreza, daños a la salud, desnutrición crónica y analfabetismo.

Como conclusión, se puede argumentar que la situación de los departamentos más vulnerables ante las heladas y friajes no ha mejorado sustancialmente, a pesar de que los principales indicadores de riesgo a nivel nacional tienden a la baja y pese a la implementación del Plan Multisectorial ante Heladas y Friajes desde el 2013. Prueba de ello es que en los años en que estos fenómenos meteorológicos han presentado una alta ocurrencia, la cantidad de personas afectadas ha alcanzado niveles bastante elevados, incluso mayores a los registrados en años anteriores. Por lo tanto, se requieren que se formulen planes o medidas más efectivas o mejor diseñadas y articuladas que puedan reducir los niveles actuales de vulnerabilidad en los departamentos que más lo necesitan.

## Capítulo 4: Modelos y Algoritmos Propuestos

Luego de realizado el análisis de la situación actual del país respecto a los eventos de heladas y friajes en el capítulo anterior, se evidenció la oportunidad de mejora de los mecanismos de distribución de bienes de ayuda humanitaria para los fenómenos de bajas temperaturas con el fin de disminuir la cantidad de población afectada por dichos desastres y aumentar la respuesta en los meses previos a los periodos de ocurrencia de estas emergencias.

Por ello, este capítulo abarcará la presentación de modelos, algoritmos y herramientas relativas a la Minería de Datos y la Investigación de Operaciones que pueden ser de gran utilidad para los objetivos planteados.

### 4.1. Preprocesamiento de Data y Clustering

Debido a que uno de los objetivos es determinar la localización óptima de los almacenes para la distribución de bienes de ayuda humanitaria, es adecuado clasificar las localidades afectadas; por ende, se procederá a buscar el método de clustering que mejor se ajuste a los datos que se tienen. La clasificación se realizará de acuerdo a los indicadores calculados para el Plan Multisectorial ante Heladas y Friajes que se detallaron en la sección 3.2.5 de análisis de elementos expuestos y otros indicadores sociales, demográficos y climáticos que se consideraron pertinentes.

Con el fin de tener una mejor comprensión de las zonas afectadas en el último año, se presenta la Figura 12, un mapa en el que se dividen los distritos afectados según el fenómeno que tuvo lugar en dicha zona:

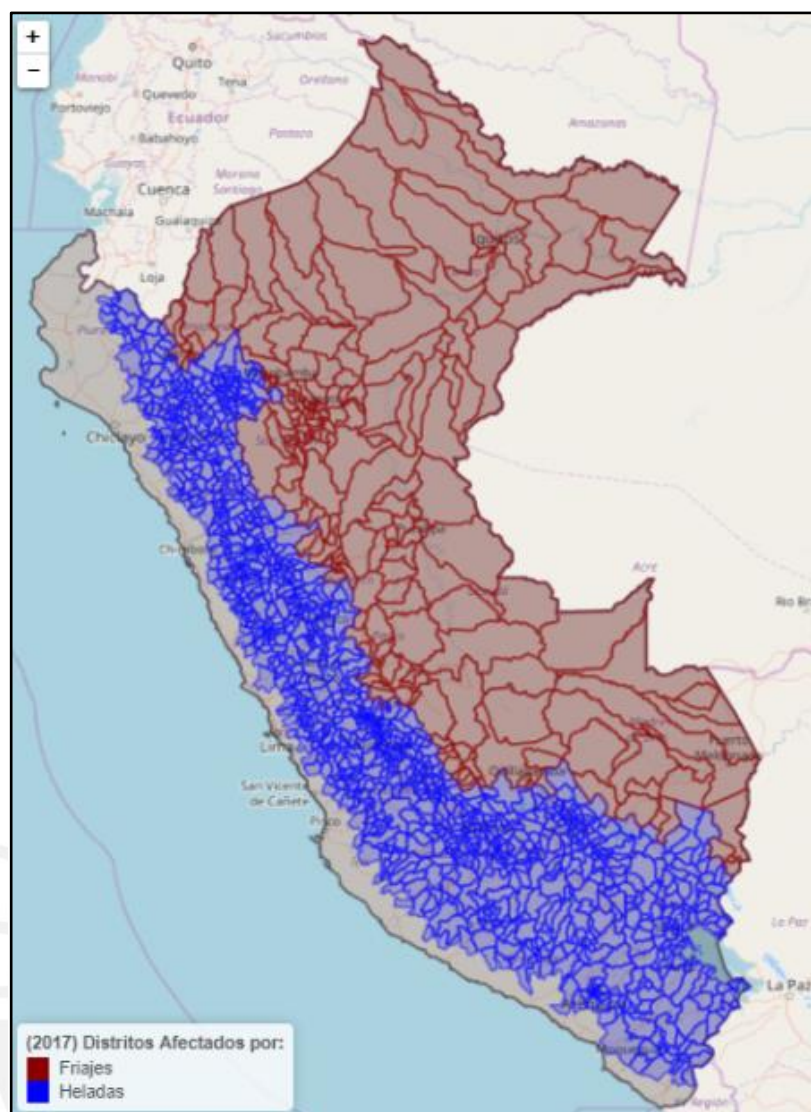


Figura 12: Distritos afectados por heladas y friajes (2017)

Fuente: OpenStreetMaps (2017)

#### 4.1.1. Revisión de Variables Utilizadas en el Plan Actual

En el año 2016, la data obtenida por el Estado sobre los efectos de las heladas y friajes en los departamentos del Perú permitió realizar un análisis y estudio para determinar la priorización de distritos a ser atendidos en el Plan Multisectorial ante Heladas y Friajes del 2017 como ya se había mencionado en el capítulo 3. El análisis realizado por las entidades estatales responsables de la elaboración de estas estadísticas considera un conjunto de variables que se distribuye en tres grandes grupos: Salud, Vivienda y Educación. La Tabla 12 indica las variables utilizadas para determinar un nivel de riesgo en cada uno de los tres ámbitos mencionados:

Tabla 12: Variables utilizadas para el cálculo del Nivel de Riesgo por sector

Salud	Vivienda	Educación
Tasa de mortalidad (< a 5 años)	Índice del material predominante de la vivienda	Cantidad unidocentes
Tasa de neumonías (< a 5 años)	Incidencia de Pobreza	Cantidad unidocentes/polidoscentes
Índice de Daños a la Salud	Tasa de Analfabetismo	Instituciones no escolarizadas (inicial/primaria)
Incidencia de Pobreza	Viviendas con techos de calamina o categorías menores	Total de Instituciones Educativas del distrito
Tasa de Desnutrición Crónica (< a 5 años)	Viviendas con pisos de tierra	Índice de Escasa Capacitación Docente
Tasa de Analfabetismo	Viviendas con paredes de adobe o categorías menores	Incidencia de Pobreza
Porc. viviendas según el material utilizado para cocinar	Total de viviendas por distrito	Tasa de Desnutrición Crónica (< a 5 años)
Población Total del distrito	Temperatura mínima	Total de alumnos
Población menor a 5 años		Total de docentes
Población de 60 años a más		Temperatura mínima
Temperatura mínima		

Algunas de las variables de la Tabla 12 son calculadas a partir de otras del mismo grupo. Los indicadores con estas características se muestran en el Gráfico 18:

Gráfico 18: Variables obtenidas a partir de otros indicadores en el Plan Multisectorial 2017

Índice de Daños a la Salud	Índice de Material Predominante de la Vivienda	Índice de Escasa Capacitación Docente
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tasa de mortalidad (&lt; a 5 años)</li> <li>•Tasa de neumonías (&lt; a 5 años)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Viviendas con techos de calamina o categorías menores</li> <li>•Viviendas con pisos de tierra</li> <li>•Viviendas con paredes de adobe o categorías menores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cantidad unidocentes / polidoscentes</li> <li>•Cantidad unidocentes</li> <li>•Instituciones no escolarizadas</li> <li>•Total de IIEE del distrito</li> </ul>

Fuente: CENEPRED (2017)

A partir de las variables de la Tabla 12, el CENEPRED calcula un nivel de riesgo para los tres grupos definidos, valores que les permiten obtener los distritos priorizados para el Plan Multisectorial ante Heladas y Friajes del 2017.

Sin embargo, la ubicación geográfica no es considerada en la determinación de los distritos priorizados, lo cual se evidencia en los resultados, pues los distritos más críticos se encuentran muy alejados entre sí como se pudo observar en el Anexo 9. Este es un factor muy importante para la tarea de distribución, debido a que el Plan

Multisectorial solo se centra en las localidades priorizadas; asimismo, puede resultar muy costoso atender lugares muy separados entre sí.

Por este motivo, se propone utilizar una metodología que conlleve a una clasificación que considere esta restricción geográfica, de manera que los resultados obtenidos sean grupos compactos geográficamente formados por distritos que comparten características similares de acuerdo a los indicadores analizados.

Esto supone no considerar variables redundantes y agregar otras más de ser necesario. A su vez, esto implica que se debe escoger el mejor tratamiento a aplicar a la data para cumplir con los objetivos planteados.

#### 4.1.2. Selección de Variables para el Modelo

Como se pudo observar, se tiene una gran cantidad de variables e indicadores calculados que dependen de dichas variables. Por ello, se decide utilizar aquellos indicadores que pueden ser más representativos. La elección final fue la siguiente:

Tabla 13: Variables a analizar para el clustering

Variable	Tipo de Variable	Comentario
Densidad Poblacional	Cuantitativa	Habitantes/km2
Índice de Daños a la Salud	Cuantitativa	
Incidencia de Pobreza	Cuantitativa	
Tasa de Desnutrición en menores a 5 años	Cuantitativa	
Tasa de Analfabetismo	Cuantitativa	
Porcentaje de Viviendas según el Material para Cocinar	Cuantitativa	Menor porcentaje indica utensilios precarios
Índice del Material Predominante de la Vivienda	Cuantitativa	
Índice de Escasa Capacitación Docente	Cuantitativa	
Temperatura Mínima	Cualitativa Ordinal	Rango de temperaturas mínimas. Consta de 10 niveles
Región	Cualitativa Nominal	Indica la región del distrito. Consta de 4 niveles

Cabe precisar que se decidió escoger las variables mencionadas en el Gráfico 18, dado que estos indicadores son utilizados para otros análisis en instituciones

estatales como el MINSA o MINEDU. Por lo tanto, su uso en esta investigación es una forma de manejar variables similares en diversos estudios estatales.

Si bien el conjunto de variables final es adecuado para representar las características sociales y demográficas de los distritos, solo la variable Región aporta información geográfica que puede ayudar a conseguir grupos cercanos físicamente entre sí.

#### 4.1.3. Aplicación de Algoritmos de Clustering

Como se puede apreciar en la Tabla 13, se tiene un conjunto de variables de distintos tipos (numéricas, nominales, ordinales), lo cual implica una elección cuidadosa del tipo de distancia que se debe utilizar para ejecutar el método de clustering que se desee.

Existen muy pocos tipos de distancias que pueden manejar varios tipos de variables a la vez, la más conocida y la que se utilizará es la distancia de Gower.

La distancia o coeficiente de Gower (Gower, 1971) es un tipo de distancia no euclidiana y no métrica que permite calcular la similitud entre distintos tipos de variables al definir primero el valor de similitud  $s_{ijk}$  según el tipo de variable:

- Variables cuantitativas: Para los  $x_n$  valores de cada variable cuantitativa k, se calcula:

$$s_{ijk} = 1 - \frac{|x_i - x_j|}{R_k} \quad (52)$$

Donde:

$R_k$ : Rango de la variable k (valor máximo menos valor mínimo)

Este cálculo es muy parecido a la distancia de Manhattan.

- Variables nominales: Se asigna el valor  $s_{ijk}$  de la siguiente manera:

$$s_{ijk} = \begin{cases} 1, & x_{ik} = x_{jk} \\ 0, & x_{ik} \neq x_{jk} \end{cases} \quad (53)$$

- Variables ordinales: Para la asignación de cada  $s_{ijk}$ , se considera el ranking en el ordenamiento de las variables y luego se aplica la misma fórmula para las variables cuantitativas (ecuación 52).
- Variables binarias: La presencia de estas variables en cualquier punto  $x_n$  es representada por “+”, y la ausencia por “-“, a partir de las cuales se define el valor de  $s_{ijk}$  de la siguiente forma en la Tabla 14:

Tabla 14: Asignación del valor de similitud para variables binarias

	Presencia de la variable k			
$x_i$	+	+	-	-
$x_j$	+	-	+	-
$S_{ijk}$	1	0	0	0

Fuente: Gower (1971)

Adicionalmente, se define el valor  $\delta_{ijk}$  que puede tomar los valores 0 cuando no se puede realizar una comparación en una variable  $k$  entre los valores  $x_i$  y  $x_j$  debido a la inexistencia de un valor en  $x_i$  o  $x_j$ , y adopta el valor de 1 en caso contrario.

Finalmente, el valor final de la similitud entre dos puntos  $x_i$  y  $x_j$  se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^v w_k \delta_{ijk} S_{ijk}}{\sum_{k=1}^v w_k \delta_{ijk}} \quad (54)$$

Donde:

$w_k$ : El peso que se le asigna a cada variable (si se desean pesos iguales, es igual a 1)

$v$ : Número total de los distintos tipos de variables

Debido a que muchos algoritmos de clustering requieren el cálculo de una matriz de disimilitud o de distancias, si se desea utilizar el coeficiente de Gower es necesario realizar la siguiente transformación para obtener la matriz de disimilitud:

$$d_{ij} = 1 - S_{ij} \quad (55)$$

Asimismo, a causa de que la matriz resultante no es euclidiana, es necesario realizar otra transformación para que pueda ser utilizado como datos de entrada para algunos algoritmos de clustering, por ejemplo, muchos de los métodos de partición como k-medias necesitan estrictamente de datos euclidianos para que las operaciones a realizar tengan valor matemático.

Para el conjunto de datos formado por las variables escogidas, se comprobó que la matriz de Gower resultante no es euclidiana; por ende, se procedió a encontrar una representación euclidiana de dicha matriz para que puede ser utilizada por todo tipo de métodos de clustering.

De acuerdo con el método de Cailliez (1983), se puede encontrar la menor constante positiva  $c^*$ , tal que la matriz formada por todas las disimilitudes  $dc_{ij}$  definidas por:



$$\begin{aligned} dc_{ij} &= d_{ij} + c, \text{ si } i \neq j \\ dc_{ij} &= 0, \text{ si } i = j \end{aligned} \quad (56)$$

tenga una representación euclidiana en un espacio dimensional  $c \geq c^*$ .

Luego de construir la nueva matriz euclidiana de disimilitudes, se procede a calcular las distancias entre los distritos de la base de datos que son afectados por heladas y friajes.

Para el cálculo de estas distancias, se utilizaron los datos de longitud y latitud de todos los distritos para calcular la distancia geodésica entre los distritos. La distancia geodésica es la mínima ruta entre dos puntos que se encuentran en una superficie curva (Holuša & Sojka, 2015).

Como resultado, se obtiene una matriz que tampoco es euclidiana; por ello, se procede a aplicar el método de Cailliez para obtener una matriz euclidiana.

De esta manera, se tienen dos matrices euclidianas: una formada por las disimilitudes entre las variables sociales y demográficas de los distritos y otra que nos indica la distancia entre los distritos en estudio. Debido a que se desea que un algoritmo de clustering pueda considerar toda esta información simultáneamente, se decidió combinar ambas matrices de acuerdo a lo expuesto por Melssen, Wehrens y Buydens (2006).

En dicho estudio, se aplica la siguiente fórmula para cada valor de disimilitud para combinar dos o más matrices:

$$D_{fused_{jk}} = \sum_{i=1}^M w_i D_{ijk} \quad (57)$$

Donde:

$w_i$ : Peso de cada matriz de disimilitud  $i$

$D_{ijk}$ : Disimilitud entre los puntos  $j$  y  $k$  de la matriz de disimilitud  $i$

$M$ : Total de matrices de disimilitud a combinar

Al realizar esta operación se obtiene una nueva matriz no euclidiana que contiene las características de las matrices originales en igual proporción, dado que previo al cálculo ejecutado en la ecuación 57, cada disimilitud fue estandarizada.

Estudios similares como el presentado por Lee, Duin, Ibba y Loog (2010), reafirman que el carácter no euclidiano de la matriz combinada resultante puede ser beneficioso para ciertos métodos de clasificación; sin embargo, para este caso en particular, los

métodos de clustering a comparar posteriormente precisan específicamente de medidas euclidianas. Por lo tanto, a la matriz resultante se le aplicará el método de Cailliez para obtener una matriz euclidiana final que contempla tanto aspectos geográficos como sociales, demográficos y climatológicos.

Luego de obtener la matriz de disimilitud final, se procede a ejecutar los algoritmos de clustering que permiten como datos de entrada una matriz de disimilitud euclidiana para determinar cuál genera la mejor partición.

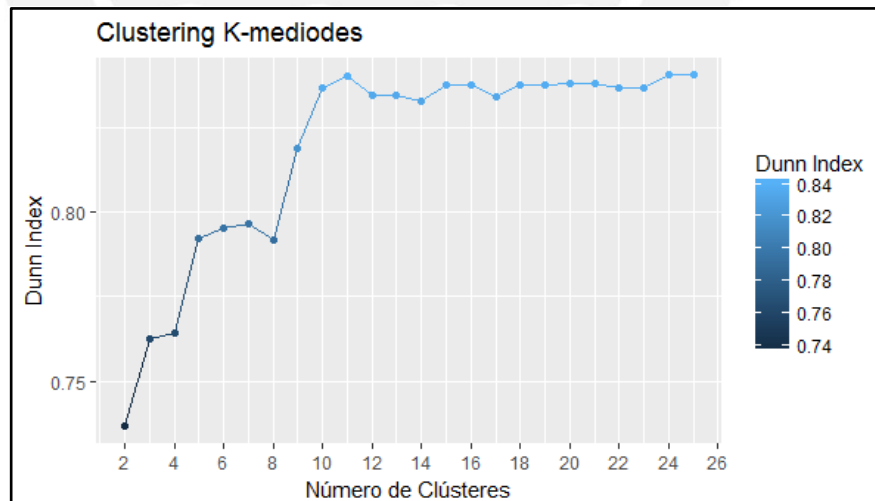
Los algoritmos escogidos que se desarrollaron en el software RStudio fueron k-mediodes, jerárquico aglomerativo y jerárquico divisivo.

Para cada uno de estos métodos se utiliza el índice de Dunn como medio de evaluación de las particiones resultantes, dado que pertenece al pequeño grupo de indicadores que permite como dato de entrada una matriz de disimilitud. Asimismo, se realizaron iteraciones en todos los métodos para generar particiones de 2 clústeres hasta 25 con el objetivo de determinar el número óptimo de clústeres para cada algoritmo y realizar una elección final adecuada.

Los resultados de todas las iteraciones para cada algoritmo fueron los siguientes:

- K-mediodes: Como se puede apreciar en el Gráfico 19, el valor máximo del índice de Dunn se obtiene en el clúster 24 y tiene el valor de 0.8403.

Gráfico 19: Índice de Dunn para Clustering K-mediodes según número de clústeres

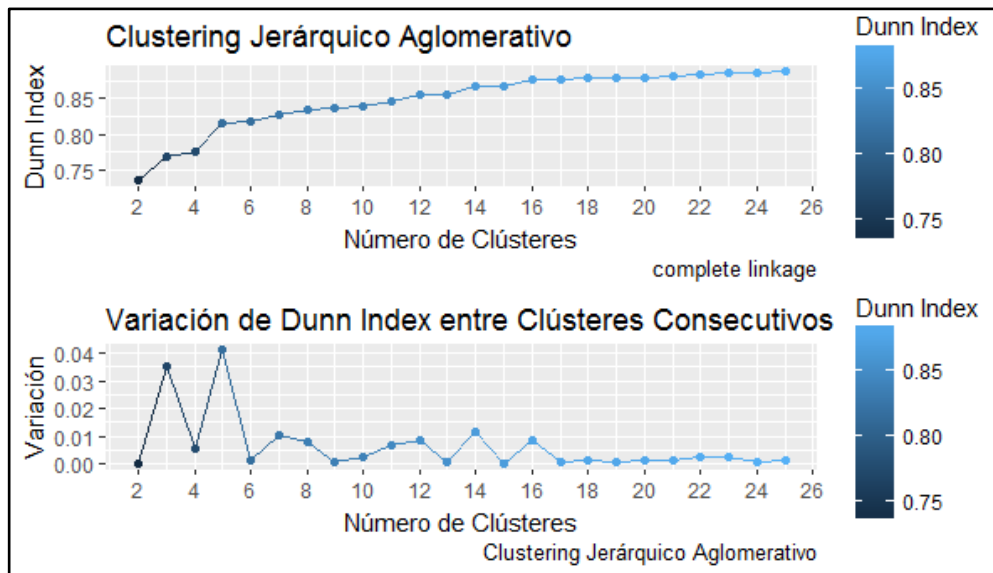


- Jerárquico Aglomerativo: Los resultados para este método en el Gráfico 20 muestran un ligero crecimiento con cada iteración. En estos escenarios, es recomendable escoger el punto donde el valor del índice parece estabilizarse, lo cual se considera que ocurre a partir del clúster 17 que presenta un valor de

0.8771 de índice de Dunn. Se considerará este como el clúster óptimo para este algoritmo.

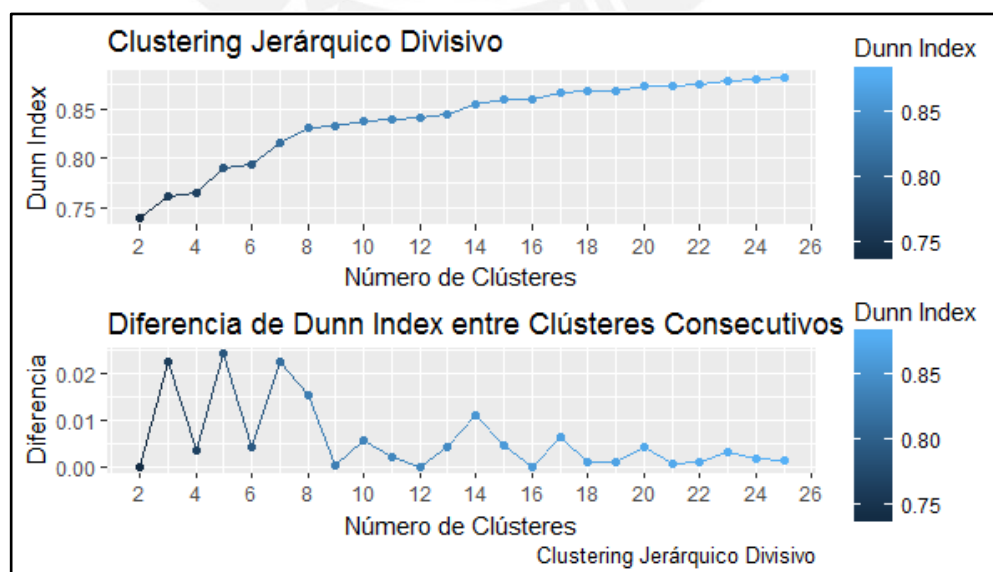
Cabe resaltar que el método de unión elegido para este algoritmo fue el de distancia máxima (complete linkage).

Gráfico 20: Valor y Variación del Índice de Dunn para Clustering Jerárquico Aglomerativo según número de clústeres



- Jerárquico Divisivo: Para este método, la tendencia de los resultados, de acuerdo al Gráfico 21, es parecida que para el algoritmo Jerárquico Aglomerativo, por lo que se procederá con el mismo artificio. Por lo tanto, se considera que el número de clústeres óptimo es 21, el cual presenta un índice de Dunn de 0.8745.

Gráfico 21: Valor y Variación del Índice de Dunn para Clustering Jerárquico Divisivo según número de clústeres



De estos resultados se determina que el algoritmo que se desempeñó mejor fue el Jerárquico Aglomerativo, como se aprecia en la Tabla 15; por ende, la partición generada por este método cuando se eligen 17 clústeres será la que se utilizará para el resto de este trabajo.

Tabla 15: Resumen de resultados óptimos de los métodos de clustering aplicados

Algoritmo de Clustering	Número de Clúster Óptimo	Dunn Index
K-mediodes	24	0.8403
J. Aglomerativo	17	0.8771
J. Divisivo	21	0.8745

Después de seleccionar la mejor partición, el siguiente paso es identificar en el mapa los clústeres formados e inspeccionar visualmente si efectivamente se han formado clústeres compactos geográficamente.

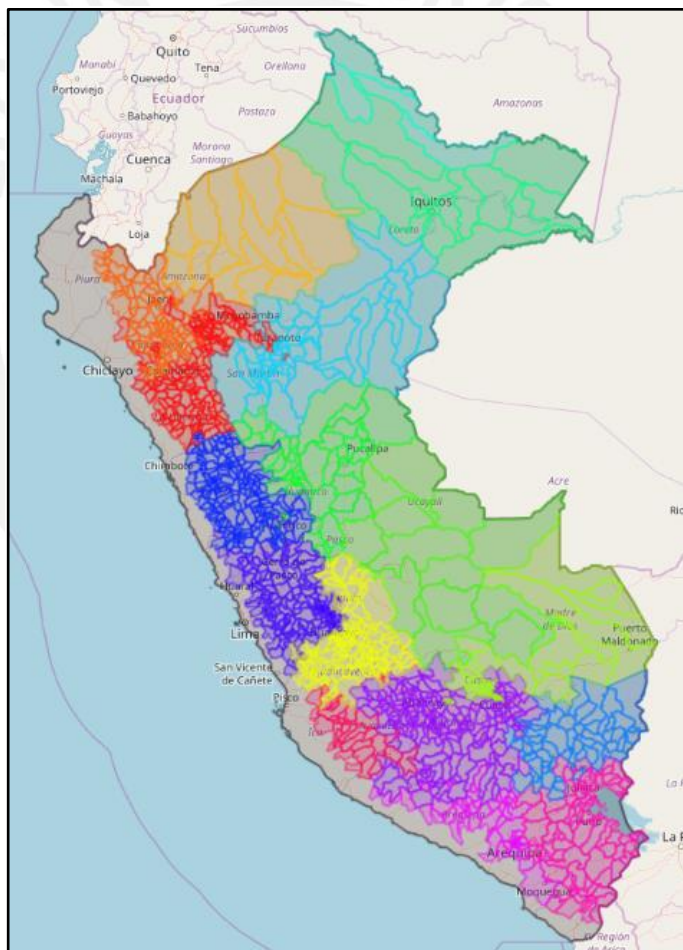


Figura 13: Mapa de la partición óptima elegida

De acuerdo a la Figura 13, se ha conseguido el objetivo de agrupar distritos cercanos geográficamente y que comparten características similares, lo cual se encuentra reflejado en un alto índice de Dunn, 0.8771 para la partición escogida.

#### 4.1.4. Selección de clústeres críticos

Una vez que se tienen todos los clústeres, se procede a realizar una evaluación de los indicadores más importantes de cada uno de los grupos formados para discernir cuáles pueden ser considerados más críticos. Aquellos que se identifiquen como tal, serán los seleccionados como localidades de atención en el modelo de programación lineal que se planteará posteriormente.

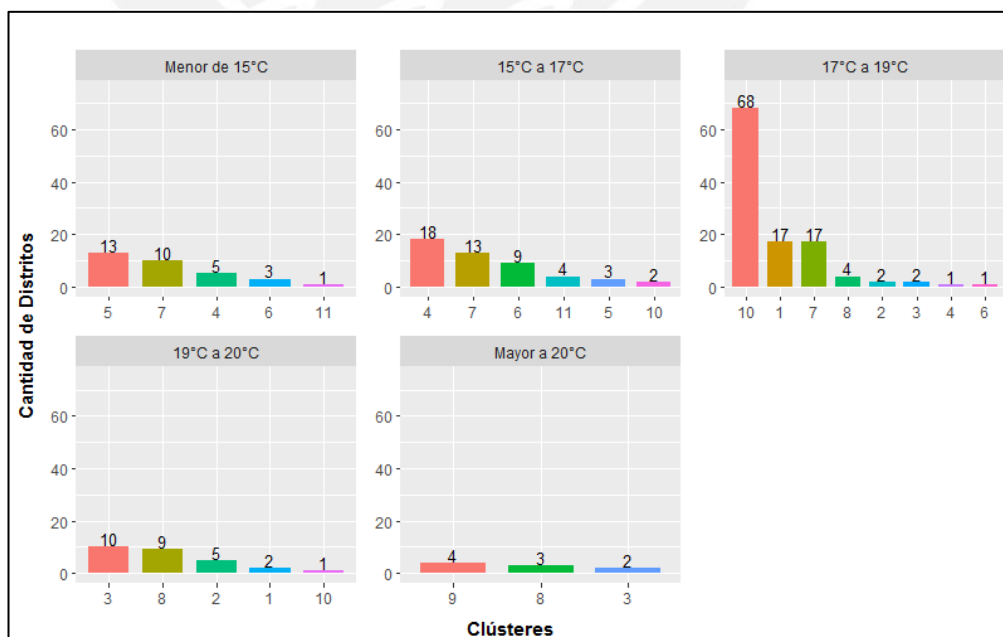
Debido a que el principal objetivo de la logística humanitaria es salvar la vida de las personas, la evaluación se centrará en los grupos en los que las heladas y friajes ocurren de forma más intensa y cruda y en aquellos que se presenten una densidad poblacional por encima del promedio, pues indica que gran parte de su población sufre las consecuencias de estos fenómenos meteorológicos.

Para este análisis se evaluarán los distritos afectados por friajes y heladas por separado, de esta manera, se podrán elegir clústeres críticos que consideren una cantidad aceptable de distritos afectados por ambos desastres.

- **Análisis de la Temperatura Mínima:** Para este indicador, se plantea escoger los clústeres que contienen mayor porcentaje de los distritos con el rango de temperatura más bajo para cada tipo de fenómeno.

El Gráfico 22 muestra la cantidad de distritos afectados por friajes por cada Rango de Temperatura para cada uno de los clústeres identificados:

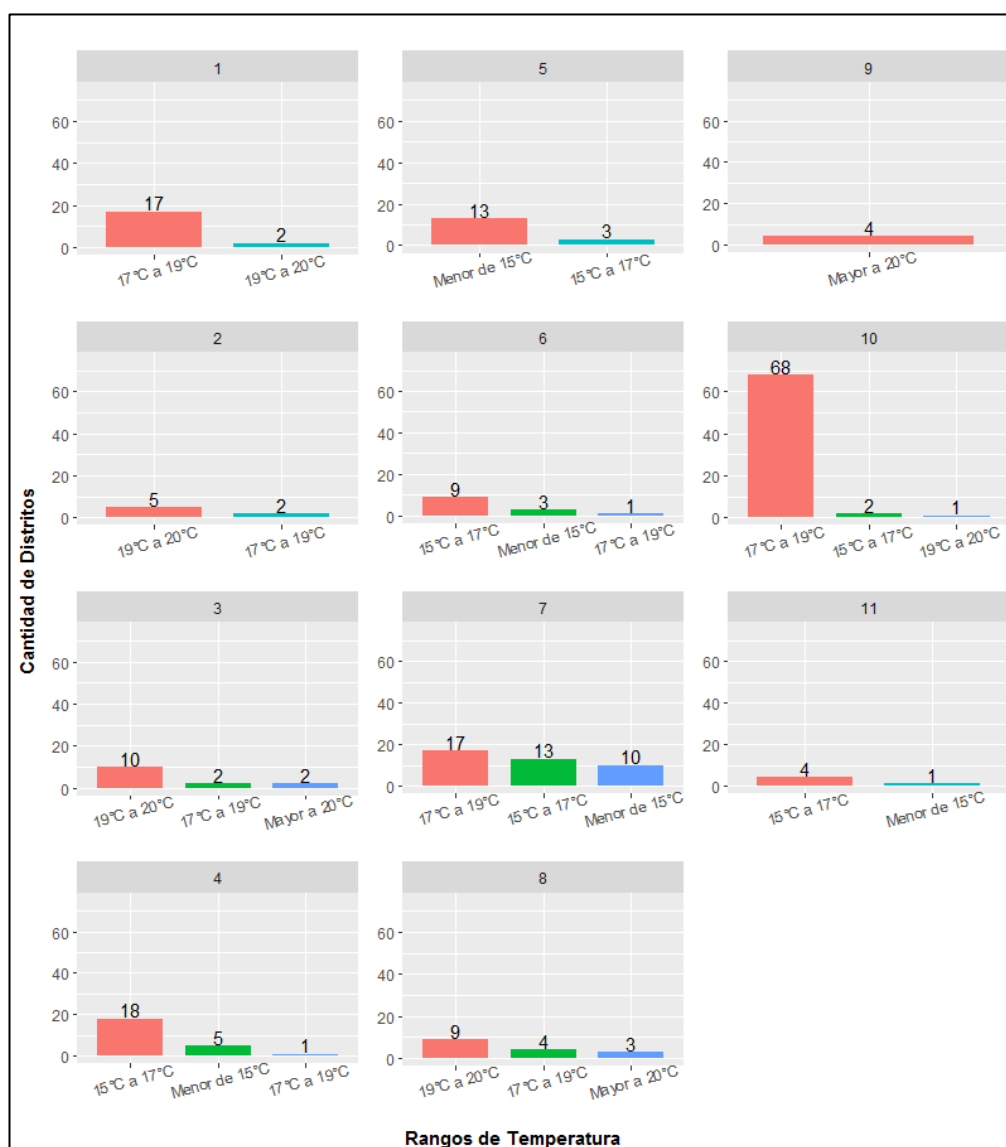
Gráfico 22: Distribución de distritos afectados por friajes según rango de temperatura por clúster



Del Gráfico 22, se puede identificar que los clústeres 4, 5, 6, 7 y 11 contienen casi la totalidad de distritos afectados por friajes en los dos rangos de temperatura más bajos (menor a 15 °C y entre 15 y 17 °C).

Mientras que el Gráfico 23, muestra la composición de cada uno de los clústeres de acuerdo al rango de temperaturas únicamente para los distritos afectados por friajes.

Gráfico 23: Distribución de distritos afectados por friajes según clúster por rangos de temperatura

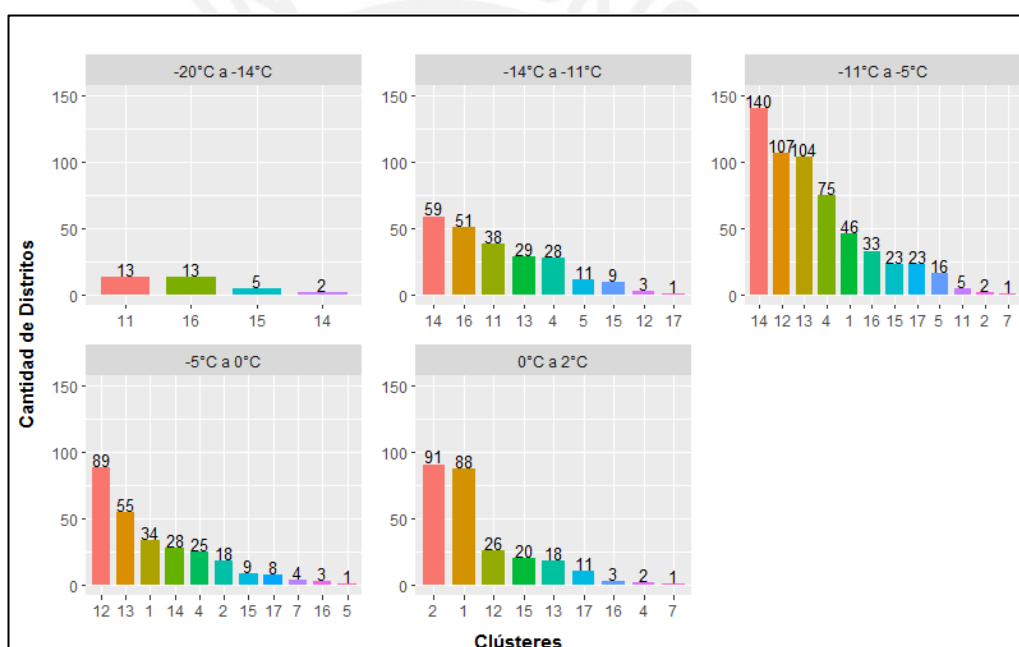


De los clústeres mencionados en el Gráfico 23, se visualiza que los clústeres 5 y 11 están formados únicamente por distritos de los rangos de temperatura más bajos (Menor a 15 °C y entre 15 y 17 °C), siendo el clúster 5 aquel que mantiene la mayor cantidad de distritos con temperatura menor a 15°C entre los dos. Los clústeres 4 y 6 no presentan muchos distritos con temperaturas menor a 15 °C; por ende, son descartados de la elección. Finalmente, el clúster 7 está

conformado por varios distritos afectados por friaje y es el segundo detrás del clúster 5 que posee más localidades que sufren temperaturas menores a 15 °C, pero está compuesto en su mayoría por distritos de temperaturas entre 17 y 19 °C; por ello, tampoco es escogido. En consecuencia, se considera al clúster 5 como el más crítico para los distritos afectados por friajes si se analiza solo la temperatura mínima de estos eventos. Este clúster, si se considera solo los distritos afectados por friajes, contiene principalmente a localidades de Madre de Dios, Cusco y Puno.

Para el caso de las heladas, se presenta el Gráfico 24 con la cantidad de distritos afectados por heladas por cada rango de temperatura para cada uno de los clústeres:

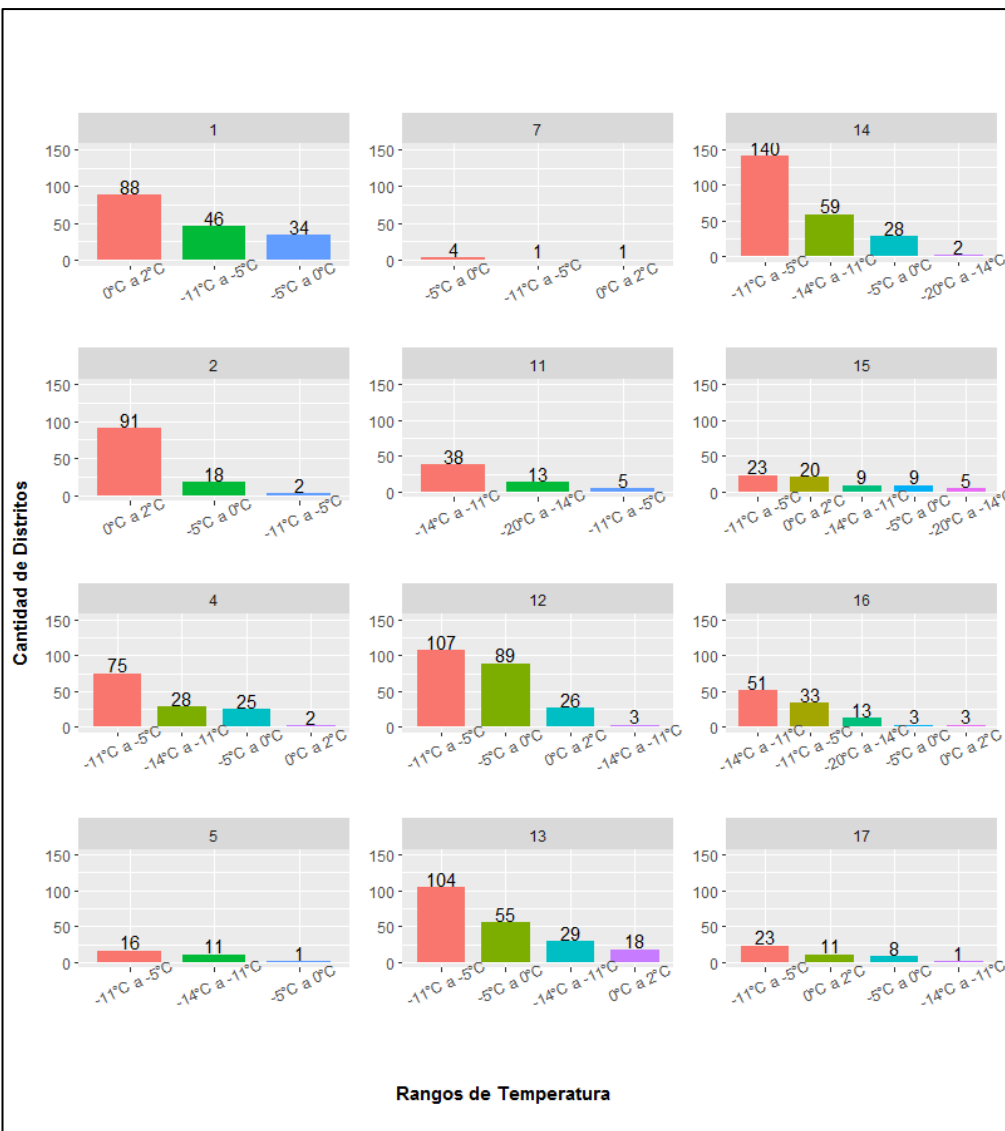
Gráfico 24: Distribución de distritos afectados por heladas según rangos de temperatura por clúster



Del Gráfico 24, se puede observar que los clústeres 11, 14, 15, y 16 acumulan la mayor cantidad de distritos que sufren de heladas más intensas (rangos de temperatura de -20 a 14 °C y de -14 a -11 °C). Además, es importante mencionar que la mayor cantidad de distritos se concentra en el rango de -11 a -5 °C.

La composición de los clústeres que permitirá escoger los distritos más críticos se muestra en el Gráfico 25:

Gráfico 25: Distribución de distritos afectados por heladas según clúster por rangos de temperatura



De los clústeres mencionados en el Gráfico 24, el clúster 11 está formado únicamente por distritos que sufren heladas en los tres rangos de temperatura más bajos, por lo que se considerará como el más crítico en cuanto a temperatura mínima. Cabe resaltar que el clúster 16 sería el siguiente más crítico, ya que alrededor del 90% de los distritos que lo componen pertenecen a los tres rangos de temperatura más bajos, lo cual no sucede en los clústeres 14 ni 15. Los clústeres 11 y 16 contienen principalmente distritos de Puno y Cusco afectados por heladas.

- **Análisis de la Densidad Poblacional:** Para este análisis, se presenta un mapa con la densidad poblacional dividida en rangos para cada distrito en la Figura 15. Asimismo, se resaltó en negro el contorno de los distritos que componen los



clústeres más críticos identificados en el análisis anterior (clústeres 5, 11 y 16), de manera que se pueda comparar fácilmente con los demás distritos.

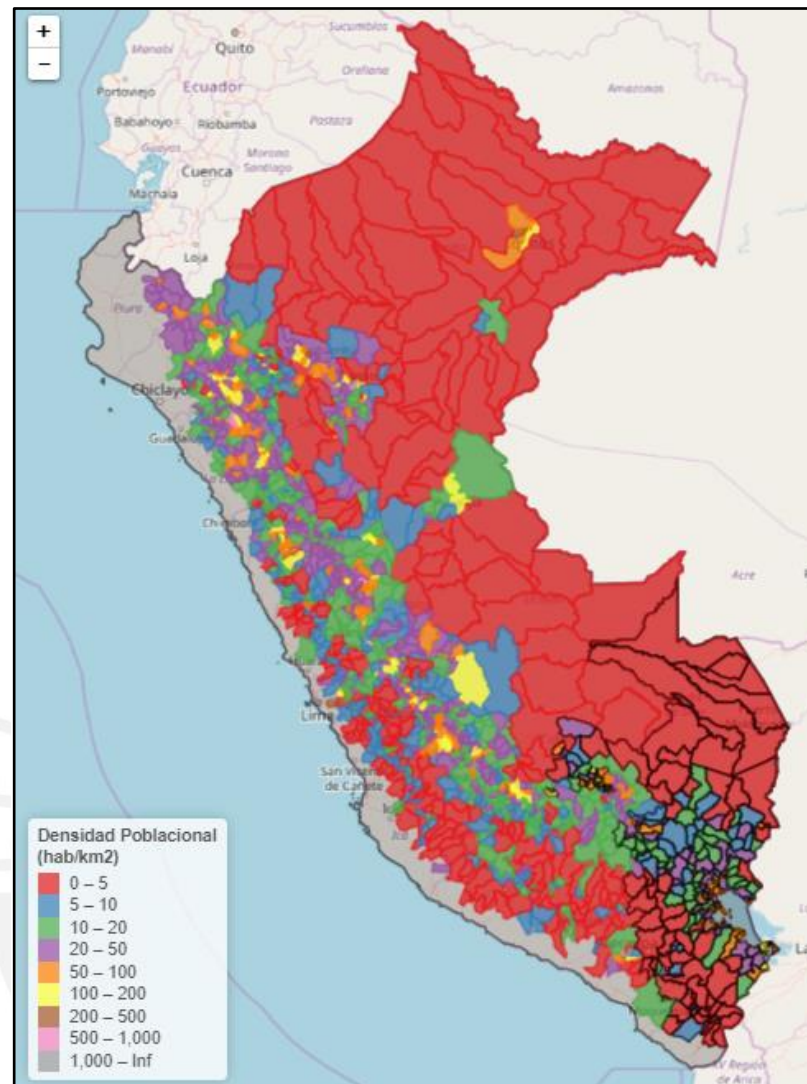


Figura 14: Mapa de densidad poblacional de los distritos afectados por heladas y friajes

De la Figura 14, se puede observar que la gran mayoría de distritos de la región Selva presentan una densidad poblacional baja; por ello, el clúster 5 y aquellos que presenten en su mayoría distritos afectados por friajes, en general, estarán formados por distritos con densidad poblacional baja. En cambio, los clústeres 11 y 16 sí presentan varios distritos con rangos de densidad poblacional de 10-20, 20-50 hab/km² e incluso algunos de entre 50-100 hab/km², sobre todo en los distritos de Puno y Cusco. Mientras que los distritos de Tacna, Arequipa y Moquegua sí muestran un descenso en la densidad poblacional. En general, los clústeres identificados en el análisis previo sí presentan un nivel de densidad poblacional medio a alto; sin embargo, cabe resaltar que de acuerdo al mapa las zonas más densas pueden encontrarse en el norte.

Luego de realizado el análisis de las variables seleccionadas, se puede confirmar que los clústeres críticos son el 5, 11 y 16, los cuales se muestran en la Figura 15:

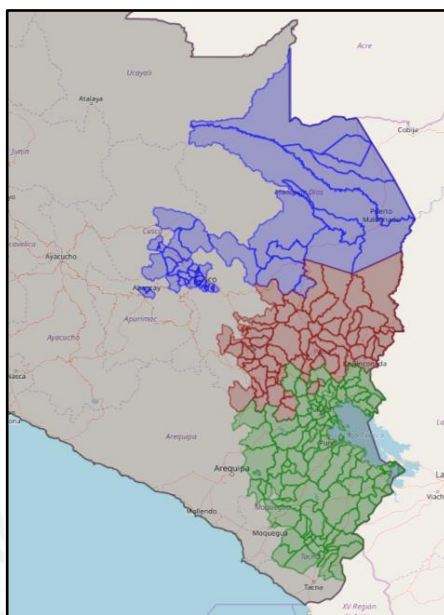


Figura 15: Mapa de los clústeres críticos seleccionados

Estos clústeres contienen en total 208 distritos repartidos entre los departamentos de Madre de Dios, Cusco, Puno, Arequipa, Moquegua, Apurímac y Tacna. Todos estos distritos serán considerados para la siguiente etapa, la cual comprende el modelo de programación lineal para la localización óptima de los almacenes desde los que se repartirán los kits de ayuda ante heladas y friajes.

## **4.2. Modelo de Programación Lineal**

Con el conjunto de distritos a atender escogidos se puede comenzar el diseño del modelo de Programación Lineal, el cual permitirá conocer el número óptimo de almacenes y los distritos en los que estarán localizados.

### **4.2.1. Descripción del Modelo**

Determinar la localización, capacidad y el número óptimo de almacenes para distribuir la cantidad de kits necesarios para atender a la población vulnerable ante heladas y friajes de los distritos seleccionados considerando el costo de construcción de los almacenes y de transporte de los kits.

#### **Información General**

La ayuda humanitaria por brindar consta de siete tipos de kits, los cuales son repartidos de acuerdo a si la población cumple con las características mínimas como para que se le sea entregado determinado kit.

Los kits por repartir y las condiciones para entregarlos en base a lo recomendado por el PCM en el Plan Multisectorial (2017) se presentan en la Tabla 16:

Tabla 16: Kits a repartir a la población afectada

# Kit	Tipo de Kit	Beneficiarios	Contenido	Unidad de transporte	Volumen unidad de transporte (m3)
1	Abrigo niños	Población menor a 5 años	Ropa de invierno básica y manta	Paquete	0.02625
2	Abrigo adultos	Población mayor a 5 años	Ropa de invierno básica y frazada	Paquete	0.036
3	Alimento	Ganado de productores agropecuarios	Pacas de heno	Paca 20 kg	0.075
4	Abono Foliar	Hectáreas de productores agropecuarios	Fertilizantes líquidos	Cilindro 200L	0.24
5	Semillas de Cultivo	Hectáreas de cultivo de productores agropecuarios	Sacos de diversas semillas	Saco 40 kg	0.0512
6	Semillas de Pasto	Hectáreas para pasto de productores agropecuarios	Sacos de semillas de pasto	Saco 40 kg	0.0512
7	Veterinario	Ganado de productores agropecuarios	Medicina y jeringas	Caja	--

Asimismo, la cantidad total de kits a repartir se puede visualizar en el Anexo 12.

#### 4.2.2. Supuestos

Para su realización, se han determinado los siguientes supuestos de acuerdo a la data que se pudo obtener de los distritos que formarán parte del modelo:

- Se asumió que los costos para construir un almacén en un mismo departamento son iguales en todos sus distritos siempre y cuando tengan la misma capacidad.
- La distancia entre distritos en km utilizada es la distancia geodésica, calculada a partir de los datos de longitud y latitud de cada distrito. No se aplica la distancia exacta considerando las carreteras y caminos para acceder a cada zona debido a la complejidad para acceder a esos datos para todos los distritos a evaluar. Además, se asume que todos los distritos son accesibles entre sí.

- Los kits ya se encuentran armados de acuerdo a su unidad de transporte y listos para ser transportados a cada distrito.
- La población de los distritos seleccionados se divide en tres grupos: menores a cinco años, mayores a 60 años y productores agropecuarios entre 40 y 54 años. Se escogió productores entre ese rango de edades porque representan los grupos con mayor cantidad de personas en la división por edades realizada por el IV Censo Nacional Agropecuario 2012 (INEI y MINAGRI, 2013). Dichos grupos acumulan el 32% del total de productores agropecuarios considerando la data del último censo.
- El kit veterinario (Kit 7) representa un volumen mínimo, por lo que no será considerado en los cálculos de transporte.
- Se considera que todos los productores son agropecuarios (poseen tierras de cultivo y ganado) y solo se atenderá en el cálculo de la demanda de kits la mitad de las hectáreas de cultivo y ganado que estos posean.
- El ganado a considerar en los cálculos es ovino, vacuno y alpacas, debido a la información disponible del IV Censo Agropecuario (2013).
- Los productores agropecuarios son divididos principalmente en dos grupos: pequeños (poseen menos de 5 ha de tierras de cultivo) y grandes productores (poseen más de 5 ha de tierras de cultivo).
- Las cantidades a repartir a los afectados de los kits de abrigo y el kit de alimentos es proporcional a la unidad de transporte de estos y no necesitan dividirse a diferencia del resto. La cantidad a repartir de estos kits se muestra en la Tabla 17:

Tabla 17: Cálculo de la demanda de los kits 1, 2 y 3

Kit 1	Kit 2	Kit 3
1 por persona	1 por persona	Número de ganado/10

Para el caso del kit 3, si la división no es exacta, se redondea una unidad hacia arriba. Cabe recordar que, para ese kit, corresponde 2 kg para cada animal de acuerdo con el Plan Multisectorial del PCM (2017).

- La división de las cantidades exactas a repartir de los demás kits (4, 5 y 6) entre los afectados se realizará después de que estos se hayan despachado del almacén y hayan llegado a destino de acuerdo a lo especificado en la Tabla 18:

Tabla 18: División de kits 4, 5 y 6 según tipo de productor

Tipo de Productor	Número de Ha de tierras de cultivo	Número Ha de tierras de pasto	Kit 4 (L/ha)	Kit 5 (saco/ha)	Kit 6 (kg a granel/ha)
Pequeños Productores	$\leq 0.5$	$\leq 1$	2 L	2	2 veces el número de Ha
	$> 0.5$	$> 1$	4	2	2 veces el número de Ha
Grandes Productores	$\leq 15$	$\leq 1$	1	1	Igual al número de Ha
	$> 15$	$> 1$	0	0	0

Estas cantidades han sido propuestas y difieren de las presentadas en el Plan Multisectorial que maneja una misma cantidad a repartir para todos los afectados que cumplan con las condiciones impuestas mencionadas en el Capítulo 3.

- En el caso de los grandes productores que posean más de 15 hectáreas, se asume que cuentan con el suficiente poder económico como para superar los efectos adversos de las heladas y friajes; por ello, no se les entregará ningún kit.
- Para el caso del kit de abono foliar, se asume que cada productor traerá un envase donde se le llenará el fertilizante.
- Para el caso del kit de semillas de pasto (Kit 6), los productores también se encargarán de presentarse con algún saco o bolsa donde se le entregará la cantidad que el corresponda, ya que este kit se reparte a granel.
- Se evaluarán distintos escenarios con almacenes de capacidades de 1200, 1400, 1600, 1800, 2000 y 2200 m<sup>3</sup>. De esta manera, se podrá recomendar el tamaño de los almacenes a construir para cubrir la demanda establecida.

#### 4.2.3. Formulación

El modelo de programación lineal propuesto se formula de la siguiente manera:

- Sets

*Distrito*: Set de 208 distritos priorizados

*Kits*: Set de 6 tipos de kits a repartir

- Variables

$x_{ijk}$ : Cantidad de kits tipo  $i$  transportados del distrito  $j$  al distrito  $k$

$y_j$ : Decisión de construir un almacén en el distrito  $j$

- Parámetros

$Demanda_{ik}$ : Cantidad de kits de tipo  $i$  requeridas por el distrito  $k$

$CostoFijo_j$ : Costo de implementar un almacén en el distrito  $j$

$Distancia_{jk}$ : Distancia entre el distrito  $j$  y el distrito  $k$

$Volumen_i$ : Volumen en  $m^3$  del kit tipo  $i$

$Capacidad$ : Máxima capacidad en  $m^3$  del almacén

$Costokm$ : Costo de transporte por kilómetro

- Modelo

- Función Objetivo:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{208} \sum_{k=1}^{208} x_{ijk} \text{Distancia}_{jk} \text{Costokm} + \sum_{j=1}^{208} y_j \text{CostoFijo}_j \quad (58)$$

- Restricciones:

$$\sum_{j=1}^{208} x_{ijk} \geq \text{Demanda}_{ik} \quad \forall j \in \text{Distrito} \quad (59)$$

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{k=1}^{208} x_{ijk} \text{Volumen}_i \leq y_j \text{Capacidad} \quad \forall k \in \text{Distrito}, \forall i \in \text{Kits} \quad (60)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \in \mathbb{N} \quad (61)$$

$$y_j \text{ binaria} \quad (62)$$

Así, la función objetivo se encarga de minimizar el costo total que involucra el transporte de los kits desde el distrito donde se encuentra el almacén al distrito de destino y el costo de construir un almacén en un determinado distrito.

La ecuación (59) controla que la cantidad de kits requeridos por cada uno de los 208 distritos sea cubierta, mientras que la restricción (60) no permite que la cantidad de kits en un almacén exceda su capacidad máxima. Finalmente, las restricciones (61) y (62) indican que la cantidad de kits a repartir sea entera y que la decisión de construir un almacén es una variable binaria.

## Capítulo 5: Análisis de Resultados

En este apartado, se presentarán los resultados obtenidos luego de ejecutar el modelo de programación lineal. Además, se analizará el efecto de la variación de las capacidades en el costo total, así como también indicadores sobre los almacenes del escenario óptimo escogido.

### 5.1. Resultados del Escenario Inicial Propuesto

Para este escenario inicial, las cantidades de cada tipo de kit a repartir a los 208 distritos críticos escogidos se pueden visualizar en el Anexo 12. El modelo se ejecutó para las capacidades mencionadas en la sección 4.2.2. y los resultados fueron los siguientes:

Tabla 19: Resultados del modelo ante distintas capacidades de almacén

Capacidad (m3)	Costo (Millones S/.)	# Almacenes	% Ocupación
2200	S/10.22	14	93.4%
2000	S/10.03	15	95.9%
1800	S/9.72	17	94.0%
1600	S/9.51	19	94.6%
1400	S/9.51	22	93.4%
1200	S/9.08	25	95.9%

De acuerdo con la Tabla 19, el escenario de menor costo sería aquel en el que se construyen únicamente almacenes de 1200 m<sup>3</sup>. Sin embargo, otro factor a considerar debe ser el costo de mantenimiento, de lo contrario se podría continuar calculando escenarios con almacenes de menor capacidad y el costo total de transporte y construcción probablemente siga descendiendo. Por lo tanto, asumiendo un costo de mantenimiento anual proporcional a la capacidad de cada almacén, se calcularon los nuevos costos hasta un periodo de 20 años como se visualiza en la Tabla 20.

Tabla 20: Costo de almacenes en un periodo de 20 años

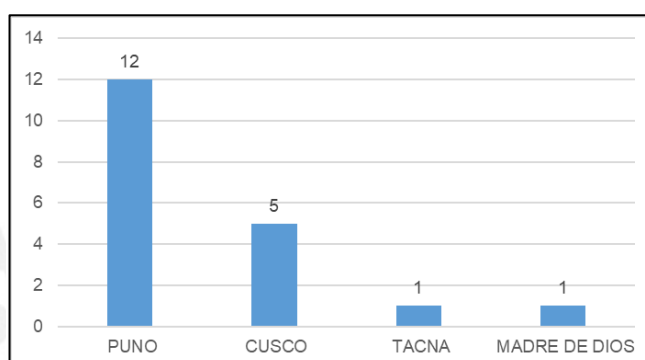
Capacidad (m3)	Costo (Millones S/.)	1 año	2 años	5 años	10 años	15 años	20 años
2200	S/10.22	S/11.56	S/12.91	S/16.94	S/23.66	S/30.38	S/37.10
2000	S/10.03	S/11.47	S/12.91	S/17.23	S/24.43	S/31.63	S/38.83
1800	S/9.72	S/11.35	S/12.98	S/17.88	S/26.04	S/34.20	S/42.36
1600	S/9.51	S/10.88	S/12.25	S/16.35	S/23.19	S/30.03	S/36.87
1400	S/9.51	S/11.09	S/12.67	S/17.43	S/25.35	S/33.27	S/41.19
1200	S/9.08	S/10.88	S/12.68	S/18.08	S/27.08	S/36.08	S/45.08



Ante estos resultados, se determina que el mejor escenario es el que contempla la construcción de almacenes de 1600 m<sup>3</sup>, quedando como segunda opción la construcción de almacenes de 2200 m<sup>3</sup>. Probablemente, en un horizonte de tiempo mayor este último escenario sea el óptimo. La respectiva localización de cada almacén para el escenario elegido se encuentra en el Anexo 13.

A partir de la distribución resultante, se determina que en total será necesario construir almacenes para ayuda humanitaria en 19 de los 208 distritos priorizados y se distribuyen de la siguiente manera entre los departamentos de los distritos críticos:

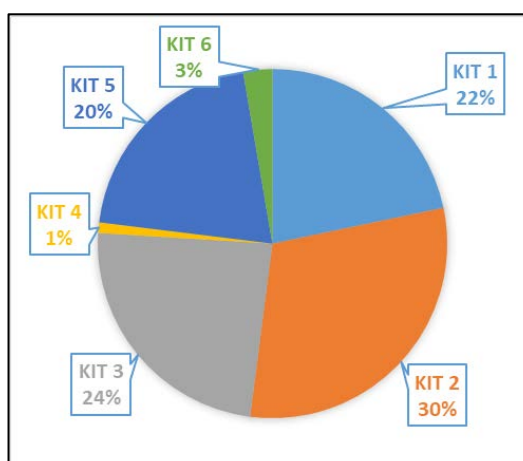
Gráfico 26: Cantidad de almacenes propuestos por departamento



Como se puede observar en el Gráfico 26, en Puno y Cusco se concentra claramente la mayor cantidad de almacenes propuestos, lo cual se considera razonable debido a que estos departamentos son los que más distritos críticos del total presentan. Asimismo, se consideran un almacén en Tacna y Madre de Dios, los que serán utilizados para atender los distritos que se encuentran alejados de Puno y Cusco.

Además, de acuerdo al Gráfico 27, se confirma que el kit de abrigo para adultos (kit 2) resulta el ítem más crítico, pues es el que presenta mayor volumen con 7,854.8 m<sup>3</sup> distribuidos; sin embargo, los kits 1, 3 y 5 presentan valores similares relativamente cercanos a los del kit 1 (mayores o iguales al 20%).

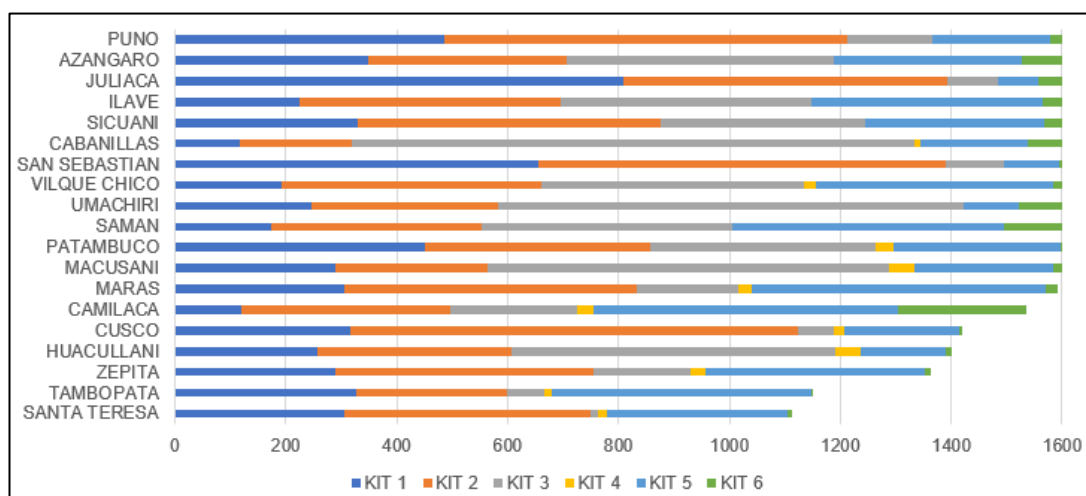
Gráfico 27: Kits según el porcentaje de volumen total distribuido





Cabe resaltar que el kit 4 es el único que no está presente en todos los almacenes resultantes. Aquellos ubicados en los distritos de Puno, Azángaro, Juliaca, Ilave, Sicuani, San Sebastián, Umachiri y Samán no albergan abono foliar en sus instalaciones. De manera similar, el kit 6 también presenta cantidades muy pequeñas en ciertas locaciones como Tambopata, Cusco, Patambuco y San Sebastián. En contraste, hay almacenes como los de Juliaca y San Sebastián cuya ocupación está determinada casi en su totalidad por los kits de abrigo (valores cercanos a 90%). Esto puede explicarse, debido a que ambos distritos presentan la mayor cantidad de población de los grupos en riesgo entre los distritos priorizados.

Gráfico 28: Distribución del Volumen de Kits en Almacenes Resultantes



Comparando con los Gráficos 26 y 27, la tendencia mostrada es bastante similar, los kits 4 y 6 representan cantidades mínimas con respecto al resto de kits. Asimismo, se aprecia que los almacenes de Huacullani, Zepita, Tambopata y Santa Teresa presentan menos de 1400 m<sup>3</sup> ocupados; es decir, aproximadamente un 20% del total de almacenes tiene una capacidad sobrante bastante mayor al resto. Como se pudo observar en la Tabla 20, esto no afectó mucho la ocupación total entre todos los almacenes, puesto que el valor alcanzado fue de 94%.

Resulta pertinente recalcar que el modelo presentado fue ejecutado en el programa AMPL con el solver CPLEX, el cual encontró una solución óptima para el escenario escogido luego de 5 horas y 7'030,571 iteraciones.

Adicionalmente, se realizó una comparación de ciertos indicadores relativos al reparto entre la distribución presentada por el Plan Multisectorial ante Heladas y Friajes (2017) y la resultante en el modelo propuesto. Se trazó un árbol de expansión mínima para los dos escenarios para poder obtener una distancia referencial en las dos propuestas (no fue posible averiguar el dato de la distancia real para el escenario

actual, por lo que se debió partir desde otro punto de referencia para realizar comparaciones adecuadas) con lo cual se consiguieron los siguientes resultados:

Tabla 21: Comparación de indicadores de atención entre escenarios

Indicador	Escenario Actual	Modelo Propuesto	Aumento/Reducción
Distancia Recorrida (km)	7,779	4,194	-0.46
Población Atendida (sin Productores)	214,692	480,419	1.24
Productores Agropecuarios Atendidos	8,170	104,691	11.81
Ganado Atendido	34,280	917,980	25.78
Hectáreas Atendidas	8,170	160,322	18.62
Cantidad de Distritos	241	208	-0.14
Ratio de Atención (personas/km)	28.65	114.54	3.00

Según la Tabla 21, la distancia mínima necesaria para recorrer todos los distritos es menor en el modelo propuesto en un 46% respecto de la situación actual. Esto, a pesar de que la cantidad de distritos a atender solo disminuyó en un 14%, lo cual evidencia que las localidades seleccionadas a partir de la metodología de esta tesis se encuentran más cercanas entre sí que en el caso actual. Luego, se evidencia que la cantidad de elementos afectados atendidos en el modelo propuesto (población menor a 5 años y mayor a 60, productores, hectáreas y ganado) se incrementan considerablemente en comparación al escenario actual. Por último, el ratio de atención es tres veces mayor para el modelo propuesto en esta investigación con respecto del actual; por lo tanto, se puede concluir que la distribución obtenida puede resultar más efectiva que la planteada por el Plan Multisectorial (2017).

Asimismo, es importante recalcar que un ratio de atención mayor significará que se necesitará de menos tiempo para entregar los bienes, con lo cual los recursos utilizados para este propósito pueden destinarse para la repartición del resto de distritos considerados no críticos y será mas probable que las personas en riesgo puedan recibir la ayuda humanitaria con anticipación.

Por último, se realiza una comparación económica del costo total de adquisición de los kits entre las cantidades repartidas en el Plan Multisectorial 2017 y el modelo inicial propuesto en la Tabla 22:

Tabla 22: Comparación Económica entre Escenarios

Variable	KIT 1 y 2	KIT 3	KIT 4	KIT 5	KIT 6	Costo Total
<b>PM 2017</b>	214,967	3,428	1,393	3,274	3,503	S/ 12,317,182.77
<b>Modelo Propuesto</b>	480,419	91,798	58,150	114,405	15,171	S/ 51,677,056.05
<b>Costo Kit Aprox. (S/.)</b>	51.40	20.00	46.00	175.18	160.15	--
<b>Aumento Respecto PM 2017</b>	1.23	25.78	40.74	33.94	3.33	3.20

Como era previsible, el costo total de adquisición de los kits en el modelo propuesto resulta mayor, puesto que se reparten una mayor proporción de este tipo de ayuda humanitaria a una subconjunto más grande de la población. El costo total resulta 3.2 veces mayor que el costo inicial, lo cual se compensa con que se atiende casi más del doble de la población no productora y 11 veces más el número de productores agropecuarios. Además, se debe recordar que la principal misión de la logística humanitaria es salvaguardar el mayor número de vidas ante la ocurrencia de desastres.

## 5.2. Resultados de los Escenarios de Simulación

Con el fin de analizar los posibles resultados ante variaciones del modelo escogido, se decidió realizar cambios en el parámetro de la cantidad de kits a repartir, tal como se indicó al inicio del presente capítulo. Debido a que el modelo propuesto abarca una porción del total de la población en los distritos priorizados, se consideró pertinente plantear la solución del modelo para un escenario que contempla a toda la población que puede resultar afectada y luego ir disminuyendo el porcentaje del total en el resto de escenarios. De esta manera, se proponen cinco escenarios en los que se disminuirá 10% el total de kits a repartir, de acuerdo con lo indicado en la Tabla 23:

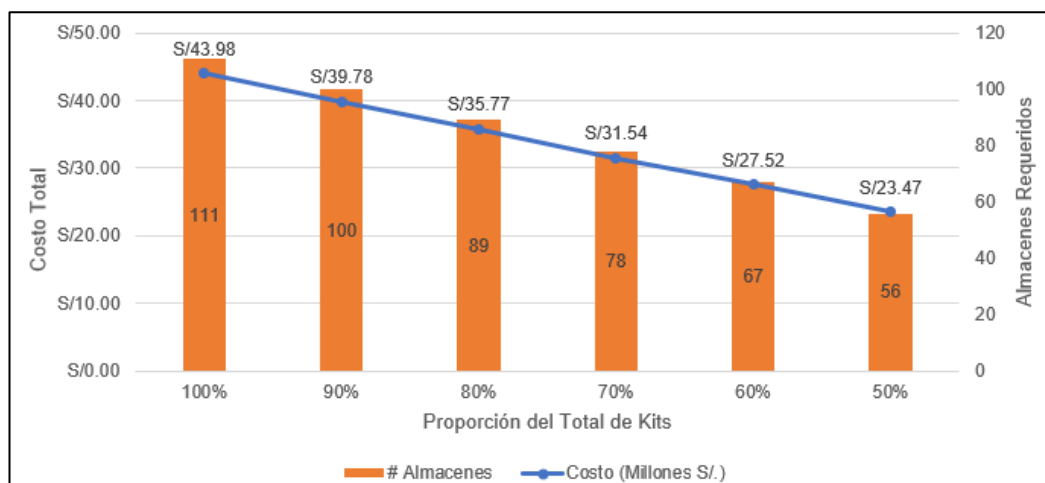
Tabla 23: Cantidad de Kits a Repartir por Escenario

Escenario	Proporción de Kits	Unidades de Transporte de Todos los Tipos de Kits
1	100%	3,982,964
2	90%	3,584,668
3	80%	3,186,376
4	70%	2,788,062
5	60%	2,391,194
6	50%	1,991,475

Luego de ejecutar el modelo propuesto con los nuevos parámetros para cada uno de los escenarios planteados, se aprecia que tanto la cantidad requerida de almacenes

como el costo total de instalación y transporte siguen aproximadamente una tendencia lineal como se muestra en el Gráfico 29:

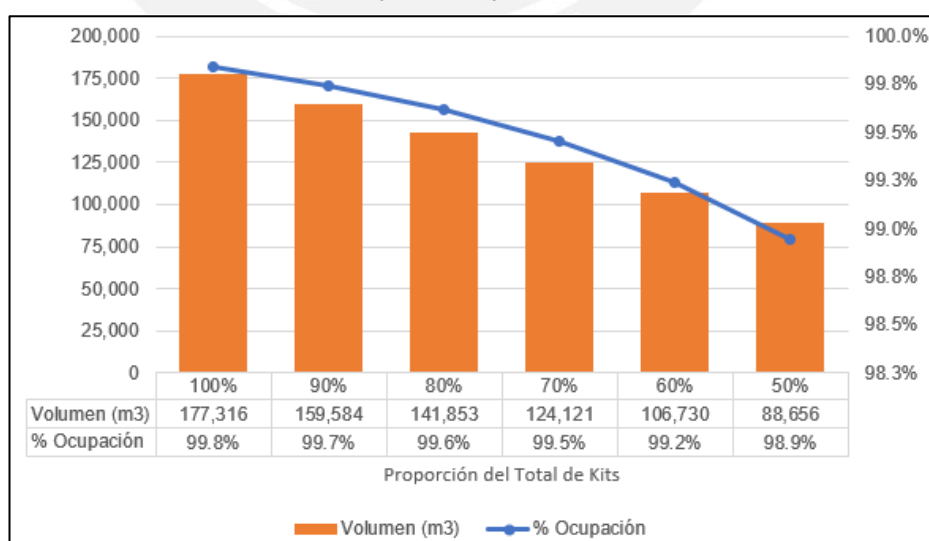
Gráfico 29: Costos Totales y Cantidad de Almacenes según Escenario Propuesto



Se puede observar del Gráfico 29 que se reducen 11 almacenes por cada uno de los escenarios planteados, ya que el escenario de demanda completa encuentra la cantidad óptima en 111 almacenes y se va reduciendo hasta alcanzar 56 almacenes cuando la demanda de kits es 50% del total. Asimismo, no se muestran señales claras de que a dichos niveles de atención la cantidad óptima de almacenes alcance un mínimo estable.

Adicionalmente, el Gráfico 30 muestra el total de volumen ocupado por todos los kits entre todos los almacenes y el nivel de ocupación respecto a la capacidad máxima de la cantidad óptima de almacenes resultante en cada uno de los escenarios.

Gráfico 30: Volumen por Distribuir y Porcentaje de Ocupación por Escenario Propuesto

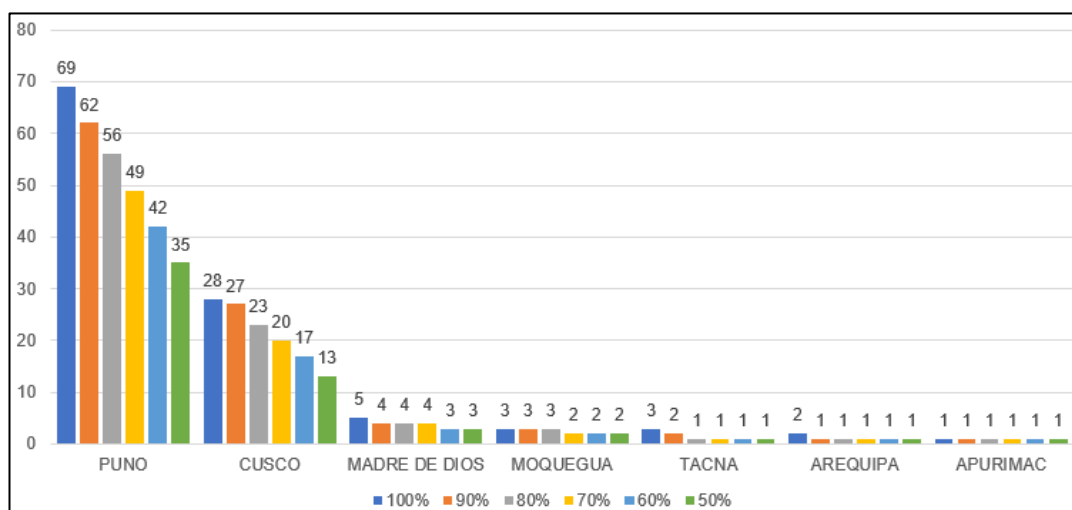


Del gráfico 30, se puede inferir que en todos los escenarios el nivel de ocupación es bastante elevado, especialmente en el modelo de demanda completa, el cual está

muy cercano al 100%. Esta observación puede causar inconvenientes si en años posteriores la población y el nivel de afectados incrementan de manera tal que resultaría necesaria una mayor cantidad de almacenes que la calculada actualmente.

Finalmente, se presenta el Gráfico 31 en el que se aprecia la variación de la cantidad de almacenes por departamento en cada uno de los escenarios propuestos.

Gráfico 31: Variación de la Cantidad de Almacenes por Departamento por Escenario Propuesto



De acuerdo al Gráfico 31, la mayor variación de almacenes en los distintos escenarios propuestos se produce en los departamentos de Puno y Cusco, los cuales alcanzan a reducirse alrededor de la mitad de los valores obtenidos en la situación de demanda completa en el escenario con demanda más baja. En cuanto a Madre de Dios, Moquegua, Arequipa y Tacna presentan variaciones mínimas, mientras que Apurímac mantuvo el almacén que se le fue asignado en el escenario inicial.

## Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones

Luego de presentados los resultados, se pueden evidenciar aspectos críticos y de mejora que son presentados a continuación:

### 6.1. Conclusiones

- Si la tendencia de los últimos años continúa, es altamente probable que los eventos de bajas temperaturas como heladas y friajes se presenten con mayor intensidad y prematuramente en algunas regiones del país. Ante este escenario, el departamento de Puno sería el más afectado; sin embargo, zonas que no padecían estos fenómenos intensamente pueden sufrir graves daños si es que no se aplican medidas preventivas adecuadas como el aumento de la cobertura de la ayuda humanitaria a la población vulnerable ante estos eventos.
- Si bien existen programas y planes con un enfoque adecuado para brindar ayuda a las personas afectadas por heladas y friajes, la integración a gran escala entre la oferta, demanda y distribución de ayuda humanitaria no es la ideal, lo cual es reflejado en que menos de la mitad del total de población vulnerable es atendida por los programas del Gobierno.
- El periodo de años de la data disponible de los indicadores que se utilizaron para la determinación de los distritos priorizados mediante clustering (5 años) es un limitante, dado que si se tuviera data de años anteriores se podrían distinguir tendencias más evidentes y la precisión del modelo sería más cercano a la realidad.
- Al aumentar las capacidades de los almacenes, la cantidad necesaria de estos disminuye. Sin embargo, la brecha entre cada nivel de capacidad considerado y los almacenes requeridos se reduce, ya que entre las dos capacidades más bajas de 1200 y 1400 m<sup>3</sup> hay una diferencia de 3 almacenes en el punto óptimo, mientras que en los dos niveles superiores de 2200 y 2000 m<sup>3</sup> la diferencia es de solo un almacén en el punto óptimo. La tendencia es a que la cantidad de almacenes se estabilice con el aumento de capacidad.
- En cuanto a los costos, si no se considera el mantenimiento de los almacenes en el tiempo, se van a preferir aquellos escenarios de almacenes de menor capacidad. Sin embargo, debido a que el costo total no muestra una tendencia proporcional (por ejemplo en los escenarios con capacidad de 1400 y 1600 m<sup>3</sup> los costos son muy similares), al incluir el mantenimiento, el escenario óptimo cambia y dependerá mucho del rango de capacidades que se analice.

- Al analizar el escenario óptimo con diferentes niveles de demanda, se evidencia que los nuevos almacenes a adicionar se concentran en los departamentos con mayor cantidad de distritos priorizados. Una alternativa a la construcción de nuevos almacenes podría ser la ampliación de capacidad de aquellos ya existentes.
- La propuesta de la tesis revela que los distritos ubicados en la zona sur son los que se encuentran en mayor riesgo ante la ocurrencia de heladas y friajes, principalmente los distritos de Puno y Cusco. Se determina que de los 208 distritos catalogados como priorizados era posible atender a la población en peligro determinada mediante 19 almacenes de ayuda humanitaria de capacidad de 1600 m<sup>3</sup>. En total, se atendería a 480,419 personas entre adultos y niños, aproximadamente 917,980 animales y alrededor de 160,322 hectáreas de tierra agrícola que son susceptibles a los efectos de heladas y friajes mediante la entrega de 6 tipos de kits de ayuda, los cuales conforman 430,650 m<sup>3</sup>.

## **6.2. Recomendaciones**

- Para alcanzar un mayor impacto se puede integrar a la propuesta un modelo que contemple la distribución de los kits de los almacenes a los distritos afectados considerando el tipo de transporte y la época del año ideal para comenzar la repartición, de manera que esta pueda llegar anticipadamente a la población, pero no tan distante del inicio de los eventos de baja temperatura para generar una mayor concientización a los beneficiarios sobre los efectos de las heladas y friajes. Para el desarrollo de esta propuesta serían necesarios información sobre vehículos, capacidad de transporte de estos, estado de las carreteras, entre otros factores que permitan incluir las dificultades en la distribución y que el modelo se acerque más a la realidad.
- Es posible que otros indicadores a parte de los utilizados en el clustering geográfico puedan aportar mayor significancia a los resultados de esta técnica, como variables asociadas a los productores agropecuarios, entre otros.
- Puede resultar recomendable el uso de técnicas de clustering espacio-temporales cuando se registren datos de los indicadores pertinentes en un periodo de años considerable. Esto puede aumentar la precisión del modelo, ya que reflejaría mejor las características, tendencias y vulnerabilidades de los distritos en estudio.
- Debido a que una cantidad considerable de personas vulnerables se encuentra en zonas de difícil acceso, el costo de distribución y construcción de almacenes es elevado; por ende, deben desarrollarse sistemas eficientes y que tomen en

cuenta el tiempo necesario para alcanzar dichas zonas, de manera que la ayuda arribe oportunamente antes de que se desaten los eventos de heladas y friajes y los kits no permanezcan en los almacenes hasta el siguiente periodo de heladas y friajes.

- El registro de datos respecto a los eventos de bajas temperaturas (personas afectadas, fallecidos, animales afectados, hectáreas dañadas, información sobre productores agropecuarios más reciente) debería ser más completo, actualizado y ordenado. La realización de censos agropecuarios y registro de personas atendidas en centros médicos a causa de estos fenómenos puede resultar de gran ayuda para los cálculos de kits a repartir





## Bibliografía

Abrishamchi, A., Ebrahimian, A., Tajrishi, M., & Mariño, M. A. (2005). Case study: application of multicriteria decision making to urban water supply. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 131(4), 326-335.

Aitken, J. (1998). Supply chain integration within the context of a supplier association: case studies of four supplier associations.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome*, 300(9), D05109.

Balinski, M. L. (1965). Integer programming: methods, uses, computations. *Management Science*, 12(3), 253-313.

Bandyopadhyay, S. (2011). Genetic algorithms for clustering and fuzzy clustering. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 1(6), 524-531.

Bazaraa, M. S., Jarvis, J. J., & Sherali, H. D. (2011). *Linear programming and network flows*. John Wiley & Sons.

Beamon, B. M., & Balcik, B. (2008). Performance measurement in humanitarian relief chains. *International Journal of Public Sector Management*, 21(1), 4-25.

Benders, J. F. (1962). Partitioning procedures for solving mixed-variables programming problems. *Numerische Mathematik*, 4(1), 238-252.

Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M. S., & Al-e-Hashem, S. M. (2013). A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty. *OR spectrum*, 35(4), 905-933.

Cabot, A., & Hurter, A. (1968). An Approach to Zero-One Integer Programming. *Operations Research*, 16(6), 1206-1211.

Cailliez, F. (1983). The analytical solution of the additive constant problem. *Psychometrika*, 48(2), 305-308.

Carreño, M. L., Cardona, O. D., & Barbat, A. H. (2007). A disaster risk management performance index. *Natural Hazards*, 41(1), 1-20.

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (2016). *Escenario de Riesgo Realizado en el Marco del Plan Multisectorial Ante*

Heladas y Friajes 2017. Recuperado de:  
<http://www.cenepred.gob.pe/web/escenarios-de-riesgos/>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (2017). *Escenario de Riesgo por Bajas Temperaturas (Pronósticos del Trimestre Mayo, Junio y Julio 2017)*. Recuperado de:  
<http://www.cenepred.gob.pe/web/escenarios-de-riesgos/>

Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management*. Pearson UK.

Cottle, R. W. (2005). George B. Dantzig: operations research icon. *Operations research*, 53(6), 892-898.

Cozzolino, A. (2012). *Humanitarian logistics: cross-sector cooperation in disaster relief management*. Springer Science & Business Media.

Dantzig, G. (2002). Linear Programming. *Operations Research*, 50(1), 42-47.

Dantzig, G. (1963). *Linear programming and extensions*. Princeton University Press.

Dantzig, G. B. (1967). Management Science in the World of Today and Tomorrow. *Management Science*, 13(6), C-107.

Davies, D. L., & Bouldin, D. W. (1979). A cluster separation measure. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, (2), 224-227.

Day, J. M., Melnyk, S. A., Larson, P. D., Davis, E. W., & Whybark, D. C. (2012). Humanitarian and disaster relief supply chains: a matter of life and death. *Journal of Supply Chain Management*, 48(2), 21-36.

Dunn, J. C. (1974). Well-separated clusters and optimal fuzzy partitions. *Journal of cybernetics*, 4(1), 95-104.

Ertem, M. A., & Buyurgan, N. (2013). A procurement auctions-based framework for coordinating platforms in humanitarian logistics. In *Humanitarian and relief logistics* (pp. 111-127). Springer, New York, NY.

Fernández Coppel, I. A. (2001). Localizaciones Geograficas. las Coordenadas geográficas y la Proyeccion UTM (Universal Transversal Mercator). *Departamento de Ingenieria Agricola y Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingenieria Agraria. Palencia. Universidad de Valladolid. Documento de internet disponible en: www.cartesia.org.*

Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social. *Haku Winay/Noa Jayatai*. Recuperado de: <http://www.foncodes.gob.pe/portal/index.php/proyectos/haku-winay-noa-jayatai>

Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social. *¿Quiénes somos?* Recuperado de: <http://www.foncodes.gob.pe/portal/index.php/nosotros/quienessomos3>

Gallardo, M. (2011). Métodos Jerárquicos de Análisis de Clúster. *Recuperado de: www. ugr. es/~ gallardo/pdf/cluster-3. pdf.*

Gallardo, M. (2011). Métodos No Jerárquicos de Análisis de Clúster. *Recuperado de: www. ugr. es/~ gallardo/pdf/cluster-4. pdf.*

Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2004). *Introduction to logistics systems planning and control*. John Wiley & Sons

Gower, J. C. (1971). A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics*, 857-871.

Guadalupe, M. R. L. (2007). Heladas, Serie Fascículos. *Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación*.

Haavisto, I., & Kovács, G. (2014). Perspectives on sustainability in humanitarian supply chains. *Disaster Prevention and Management*, 23(5), 610-631.

Holuša, M., & Sojka, E. (2015). A k-max geodesic distance and its application in image segmentation. In *International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns* (pp. 618-629). Springer, Cham.

Hughes, K. (2016). The evolution of fully flexible supply chains. In *Dynamic supply chain alignment* (pp. 105-116). Routledge.

Instituto Nacional de Defensa Civil (2016). *Compendio Estadístico del INDECI 2016 en la preparación, respuesta y rehabilitación ante emergencias y desastres*. Lima.

Instituto Nacional de Defensa Civil (2017). *Compendio Estadístico del Índice 2017 - Gestión Reactiva*. Recuperado de: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5\\_uibd.nsf/F008EF1929F65A1C052583210075CA4C/\\$FILE/201802271715091.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5_uibd.nsf/F008EF1929F65A1C052583210075CA4C/$FILE/201802271715091.pdf)

Instituto Nacional de Defensa Civil (2009). *Gestión del Riesgo de Desastres para la Planificación Local*. Lima.

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Informe Técnico: Evolución de la Pobreza Monetaria 2007-2016*.

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *Perú: Indicadores de Educación por Departamento, 2007-2017*. Recuperado de: [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1529/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1529/libro.pdf)

Instituto Nacional de Estadística e Informática y Ministerio de Agricultura y Riego del Perú (2013). *Resultados Definitivos IV Censo Nacional Agropecuario 2012*. Recuperado de: <http://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVCENAGRO.pdf>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). *Series Nacionales*. Recuperado de: <http://webapp.inei.gob.pe:8080/sirtod-series/>

Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (1987). Clustering by means of medoids. *Statistical Data Analysis based on the L1 Norm*. Y. Dodge, Ed, 405-416.

Kemeny, J. G. (1960). A philosopher looks at political science. *Journal of Conflict Resolution*, 4(3), 292-302.

Kwon, R. H. (2013). *Introduction to linear optimization and extensions with MATLAB®*. CRC Press.

Lee, W. J., Duin, R. P., Ibba, A., & Loog, M. (2010). An experimental study on combining euclidean distances. In *2010 2nd International Workshop on Cognitive Information Processing* (pp. 304-309). IEEE.

MacQueen, J. (1967, June). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*(Vol. 1, No. 14, pp. 281-297).

Melssen, W., Wehrens, R., & Buydens, L. (2006). Supervised Kohonen networks for classification problems. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 83(2), 99-113.

Mileti, D. (1999). *Disasters by design: A reassessment of natural hazards in the United States*. Joseph Henry Press.

Ministerio de Agricultura y Riego del Perú – MINAGRI. (2017). *Resolución Directoral Ejecutiva N°176-2017-MINAGRI-DVM-DIAR-AGRO RURAL-DE*. Recuperado de: <https://www.agrorural.gob.pe/wp-content/uploads/transparencia/documentos/rde/RDE-176-2017-AG-AGRORURAL-DE.PDF>

Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social – MIDIS. (2017). *Acerca de Cuna Más*. Recuperado de: [http://www.cunamas.gob.pe/?page\\_id=12](http://www.cunamas.gob.pe/?page_id=12)

Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social – MIDIS. (2015). *Guía del Empadronador para la Unidades Locales de Empadronamiento*. Recuperado de: <http://www.sisfoh.gob.pe/descargas/documentos-metodologicos/send/3-documentos-metodologicos/85-guia-del-empadronador-2015>

Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social – MIDIS. (2018). *MIDIS garantiza continuidad operativa de los programas sociales en zonas de heladas y friajes*. Recuperado de: <http://www.midis.gob.pe/index.php/es/centro-de-informacion/2895-midis-garantiza-continuidad-operativa-de-los-programas-sociales-en-zonas-de-heladas-y-friaje>

Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social – MIDIS. (2017). *Plan sectorial para contribuir con la reducción de la desnutrición crónica infantil y anemia en niñas y niños menores de 36 meses*. Recuperado de: [http://www.midis.gob.pe/dmdocuments/RM\\_112\\_2017MIDIS.pdf](http://www.midis.gob.pe/dmdocuments/RM_112_2017MIDIS.pdf)

Ministerio de Economía y Finanzas del Perú – MEF. (2017). *Programa Presupuestal 0046: Acceso y uso de la electrificación rural*. Recuperado de: [https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu\\_publ/ppr/prog\\_presupuestal/articulados/pr og\\_pptal\\_0046\\_2017.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publ/ppr/prog_presupuestal/articulados/pr og_pptal_0046_2017.pdf)

Ministerio de Economía y Finanzas del Perú – MEF. (2017). *Programa Presupuestal 0138: Reducción del costo, tiempo e inseguridad en el sistema de transporte*. Recuperado de: [https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu\\_publ/ppr/prog\\_presupuestal/articulados/pr og\\_pptal\\_0138\\_2017.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publ/ppr/prog_presupuestal/articulados/pr og_pptal_0138_2017.pdf)

Ministerio de Educación del Perú. (2017). *Prevención en Acción ante Heladas y Frijes – Escuelas Seguras / Intervenciones MINEDU*. Recuperado de: <http://www.minedu.gob.pe/heladas-friaje/intervencion-minedu.php>

Ministerio de la Mujer y Poblaciones Vulnerables – MIMP. (2017). *Adquisición de kits de abrigos para la atención del Plan Multisectorial ante Heladas y Frijes 2017 – Ítem 1*. Recuperado de: [https://www.perucompras.gob.pe/userfiles/cms/compras-corporativas/Contrato\\_MIMP\\_2016\\_ITEM\\_1.pdf](https://www.perucompras.gob.pe/userfiles/cms/compras-corporativas/Contrato_MIMP_2016_ITEM_1.pdf)

Ministerio de la Mujer y Poblaciones Vulnerables – MIMP. (2017). *Adquisición de kits de abrigos para la atención del Plan Multisectorial ante Heladas y Frijes 2017 – Ítem*

2. Recuperado de: [https://www.perucompras.gob.pe/userfiles/cms/compras-corporativas/Contrato\\_MIMP\\_2016\\_ITEM\\_2.pdf](https://www.perucompras.gob.pe/userfiles/cms/compras-corporativas/Contrato_MIMP_2016_ITEM_2.pdf)

Ministerio de Salud del Perú - MINSA (2016). *Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres del Ministerio de Salud ante la Temporada de las Bajas Temperaturas* 2017. Recuperado de: [ftp://ftp2.minsa.gob.pe/normaslegales/2017/RM\\_N113-2017-MINSA1.pdf](ftp://ftp2.minsa.gob.pe/normaslegales/2017/RM_N113-2017-MINSA1.pdf)

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento – MVCS. (2017). *Programa Nacional de Vivienda Rural – Nosotros*. Recuperado de: [http://www.vivienda.gob.pe/pnvr\\_/inicio](http://www.vivienda.gob.pe/pnvr_/inicio)

Mulvey, J. M., Vanderbei, R. J., & Zenios, S. A. (1995). Robust optimization of large-scale systems. *Operations research*, 43(2), 264-281.

Padilla, J., Espíritu, N., Rizo-Patrón, E., & Medina, M. C. (2017). Neumonías en niños en el Perú: Tendencias epidemiológicas, intervenciones y avances. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28(1), 97-103.

Popat, S. K., & Emmanuel, M. (2014). Review and comparative study of clustering techniques. *International journal of computer science and information technologies*, 5(1), 805-812.

Presidencia del Consejo de Ministros del Perú – PCM (2017). *Plan Multisectorial ante Heladas y Frijes* 2017. Recuperado de: [http://www.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2017/05/PMAHF\\_2017.pdf](http://www.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2017/05/PMAHF_2017.pdf)

Programa Nacional País. (2018). *Programa Nacional País – Institucionalidad*. Recuperado de: <http://www.pais.gob.pe/tambook/pnt/default/institucional>

Quispe, N. (2006). Frijes. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

Ranke, U. (2016). *Natural Disaster Risk Management*. Springer, Switzerland.

Roh, S. Y., Jang, H. M., & Han, C. H. (2013). Warehouse location decision factors in humanitarian relief logistics. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 29(1), 103-120.

Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of computational and applied mathematics*, 20, 53-65.

Santos Lima, F., de Oliveira, D., Buss Gonçalves, M., & Marcondes Altimari Samed, M. (2014). Humanitarian Logistics: a clustering methodology for assisting

humanitarian operations. *Journal of technology management & innovation*, 9(2), 86-97.

Sas Institute. (2008). *Sas/stat 9.2 User's Guide: The Freq Procedure (book Excerpt)*. Sas Inst.

SENAMHI. (s.f.). *Heladas y Friajes / Preguntas Frecuentes*. Recuperado de: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=heladas-y-friajes-preguntas>

Smith, N. (2006). There's no such thing as a natural disaster. *Understanding Katrina: perspectives from the social sciences*, 11.

Snyder, R. L., & Melo-Abreu, J. D. (2005). Frost protection: fundamentals, practice and economics. Volume 1. *Frost protection: fundamentals, practice and economics*, 1, 1-240.

Taha, H. A. (2004). *Investigación de operaciones*. Pearson Educación.

Tomašev, N., & Radovanović, M. (2016). Clustering evaluation in high-dimensional data. In *Unsupervised Learning Algorithms* (pp. 71-107). Springer, Cham.

Tomasini, R., Van Wassenhove, L., & Van Wassenhove, L. (2009). *Humanitarian logistics*. Springer.

UNISDR, M. (2009). UNISDR Terminology for disaster risk reduction. *United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) Geneva, Switzerland*.

UNISDR. (s.f.). *What is Disaster Risk Reduction?* Recuperado de: <https://www.unisdr.org/who-we-are/what-is-drr>

Villardón, J. L. V. (2007). Introducción al análisis de cluster. *Departamento de Estadística, Universidad de Salamanca*. 22p.

Vojvodic, K., Dujak, D., & Plazibat, I. (2015). Humanitarian Supply Chain Management: A Theoretical Review. In *International OFEL Conference on Governance, Management and Entrepreneurship* (p. 740). Centar za istraživanje i razvoj upravljanja doo.

Whybark, D. C. (2007). Issues in managing disaster relief inventories. *International journal of production economics*, 108(1-2), 228-235.

Wu, D. (2016). Risk management and operations research: a review and introduction to the special volume. *Annals of Operations Research*, 237(1-2), 1-5.

Yu, C. S., & Li, H. L. (2000). A robust optimization model for stochastic logistic problems. *International journal of production economics*, 64(1), 385-397.

Zhang, J. Q., Okada, N., & Tatano, H. (2006). Integrated natural disaster risk management: comprehensive and integrated model and Chinese strategy choice. *Journal of natural disasters*, 15(1), 29.

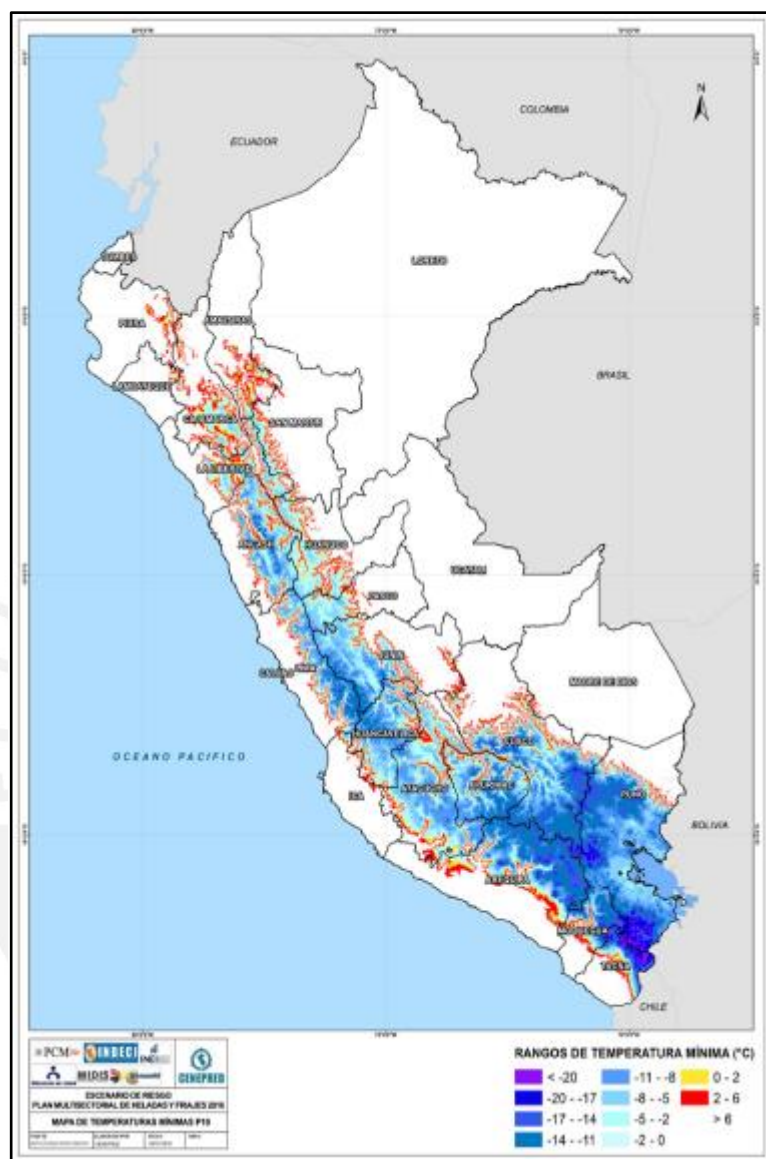
Zhou, H., Wan, J., & Jia, H. (2010). Resilience to natural hazards: a geographic perspective. *Natural Hazards*, 53(1), 21-41.





## Anexos

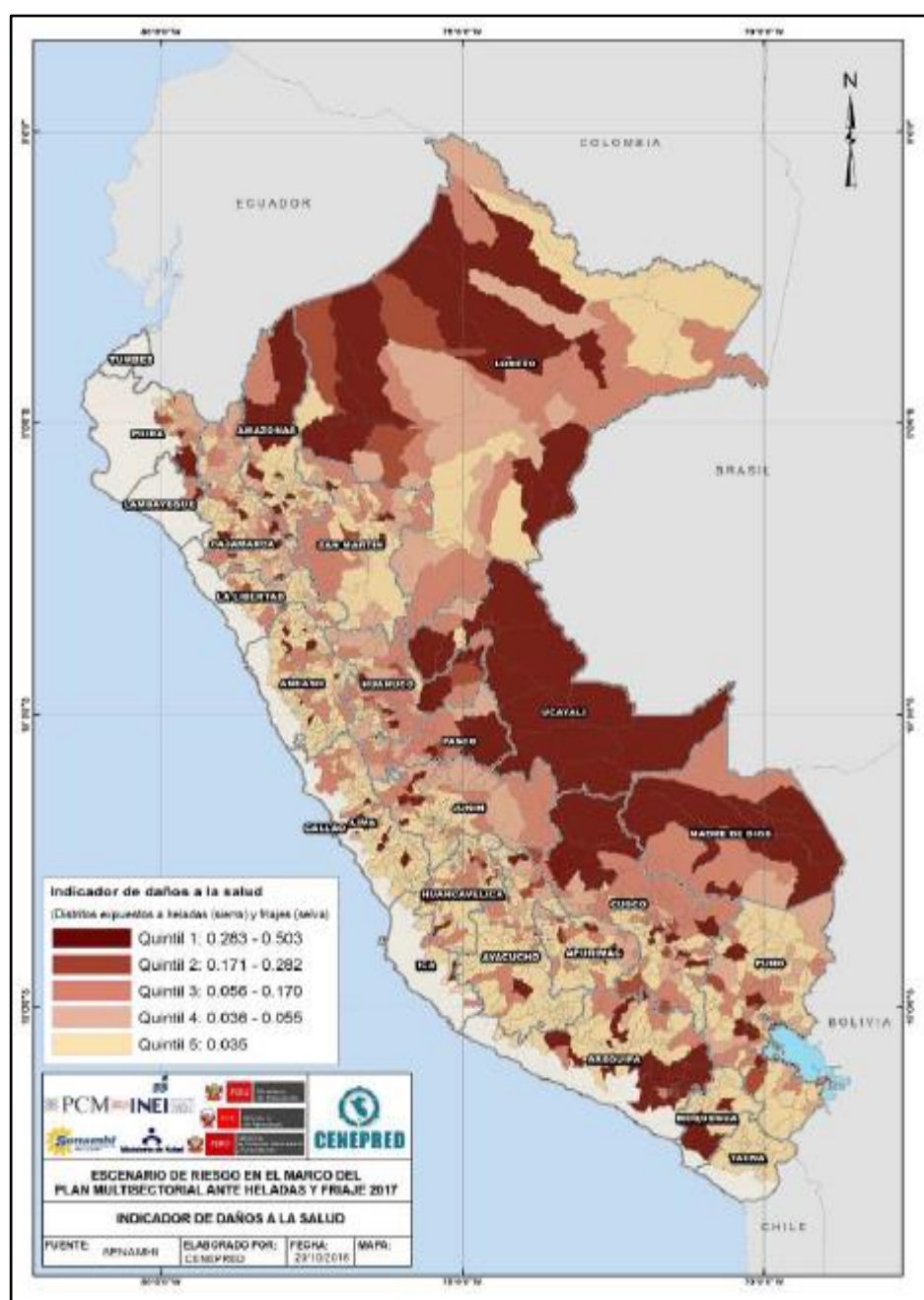
### Anexo 1: Rango de Temperaturas Mínima en los Distritos Afectados por Heladas



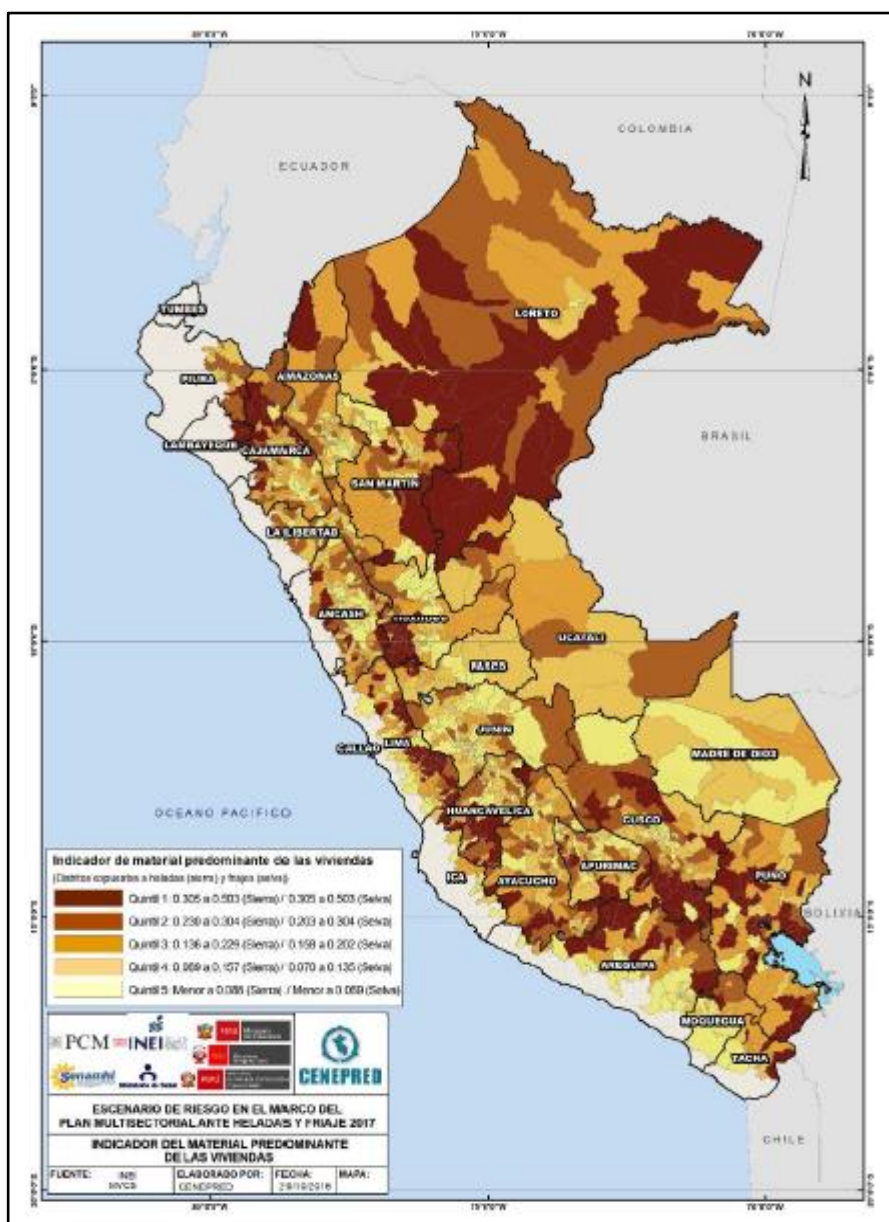
## Anexo 2: Rango de Temperaturas Mínima en los Distritos Afectados por Friajes



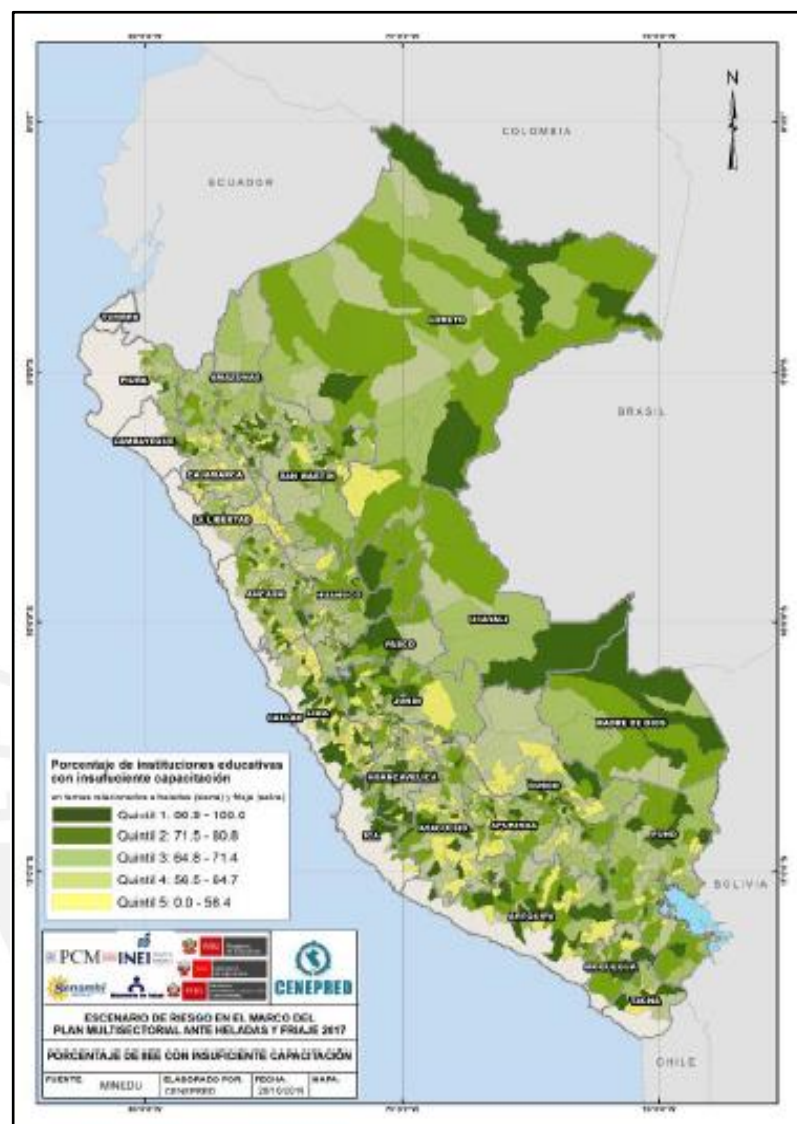
### Anexo 3: Mapa de Distribución de Índice de Daños a la Salud en Distritos Afectados por Heladas y Frijas



## Anexo 4: Mapa de Distribución de Índice de Material Predominante en las Viviendas en Distritos Afectados por Heladas y Friajes

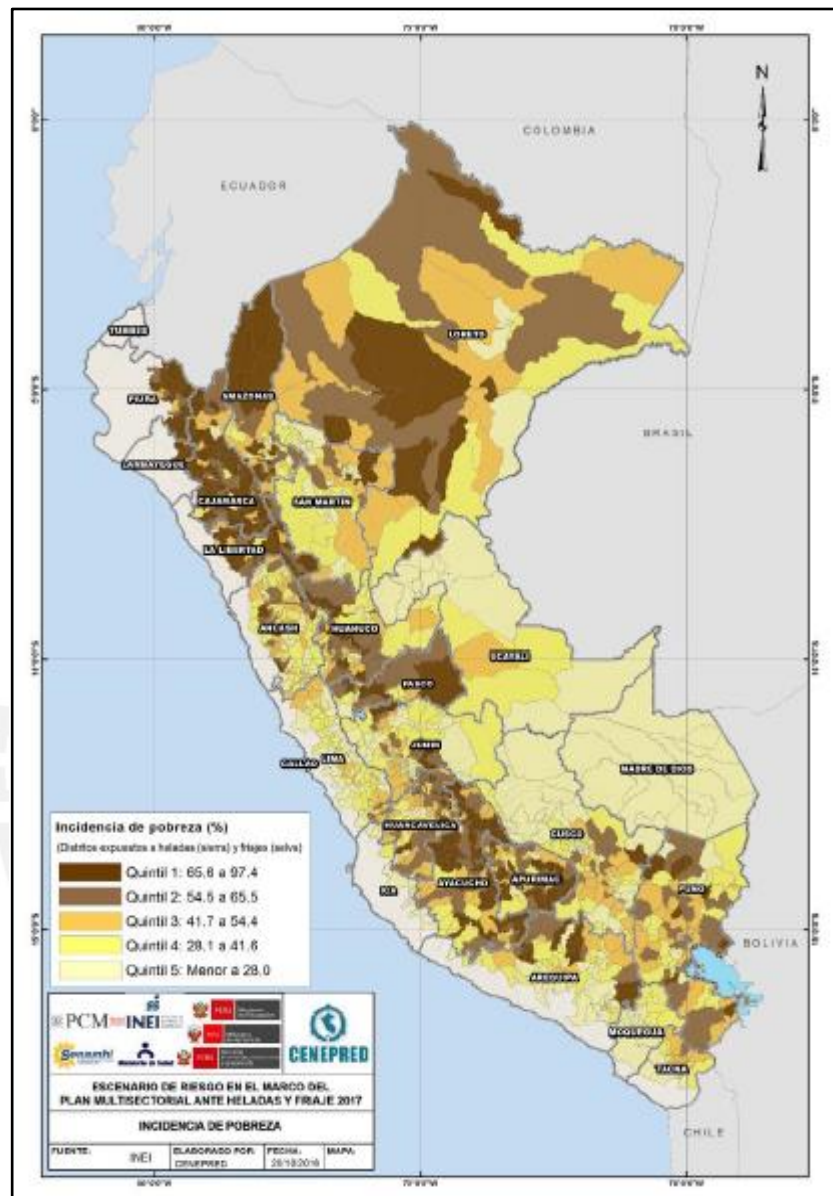


## Anexo 5: Mapa de Distribución de Porcentaje de Instituciones Educativas con Escasa Capacitación Docente en Distritos Afectados por Heladas y Friajes

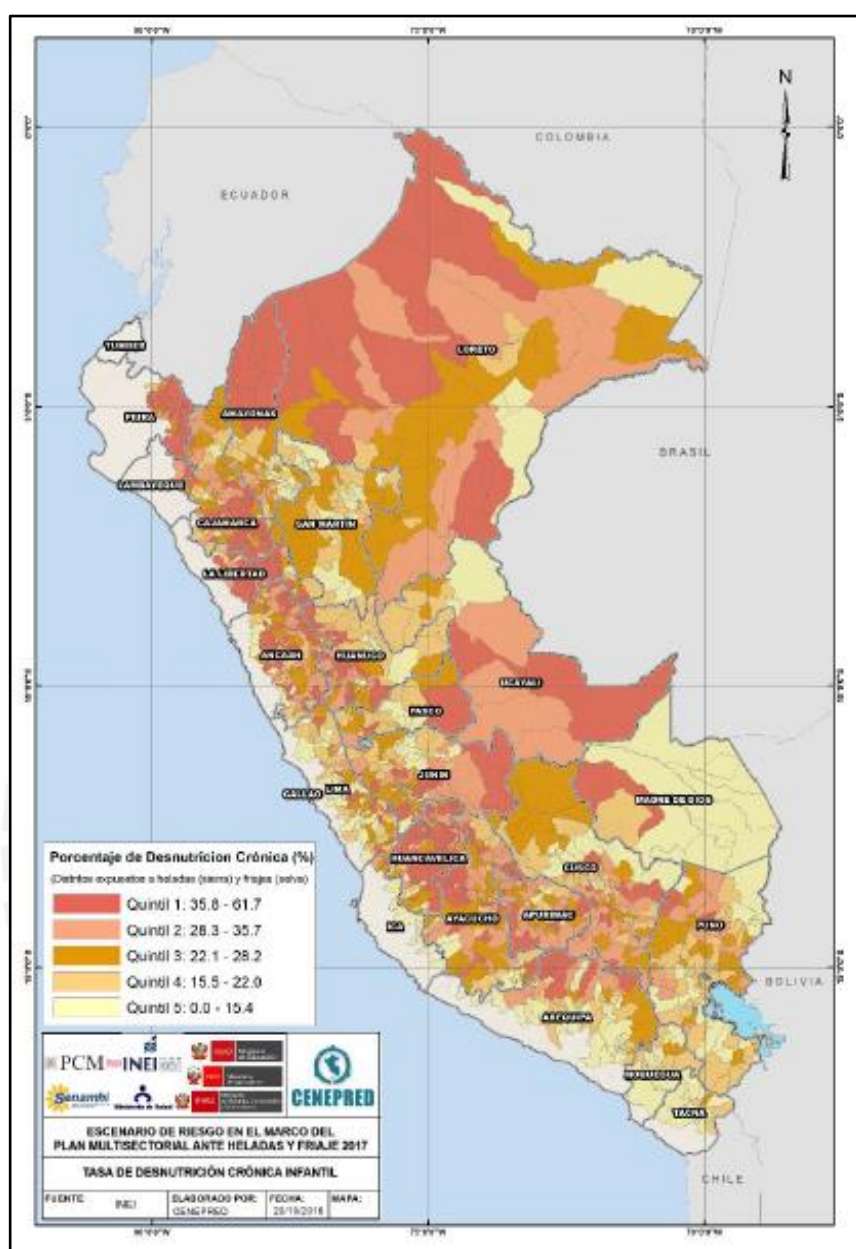




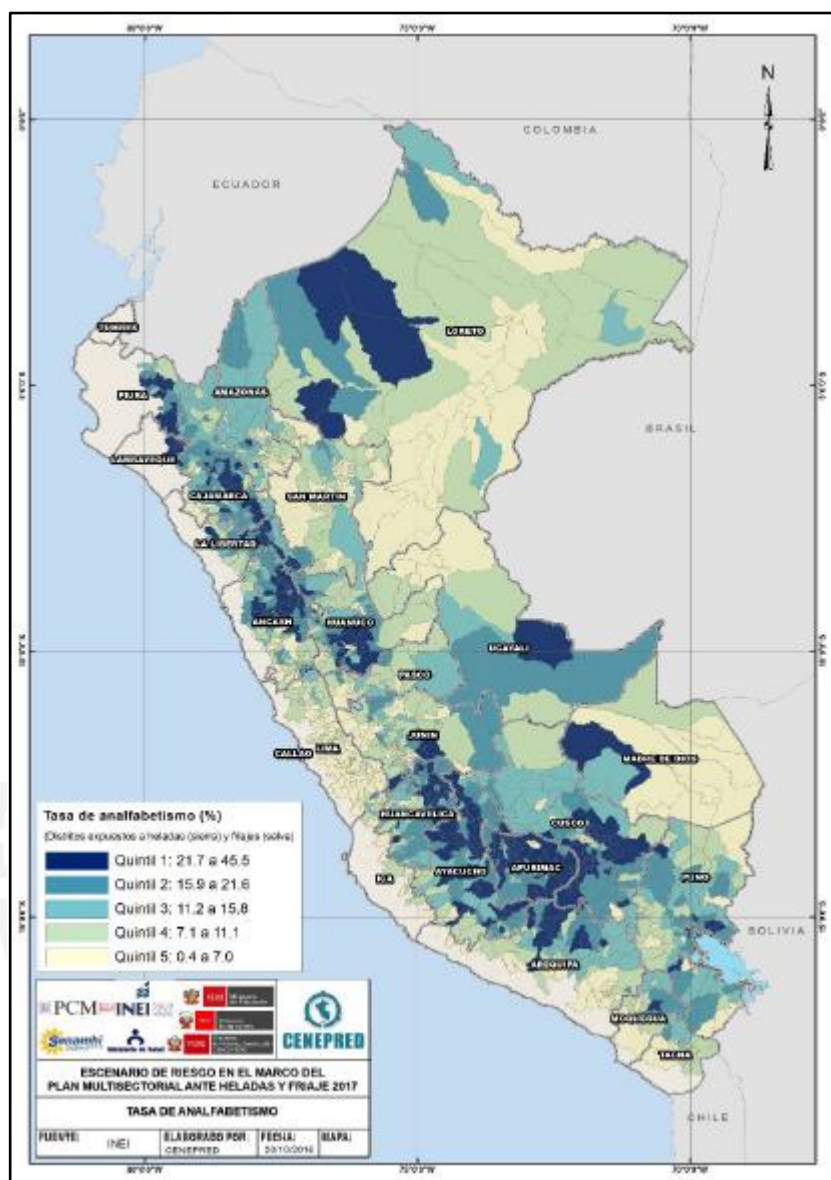
## Anexo 6: Mapa de Distribución de Incidencia de la Pobreza en Distritos Afectados por Heladas y Frijales



## Anexo 7: Mapa de Distribución de Índice de Desnutrición Crónica en Distritos Afectados por Heladas y Frijajes

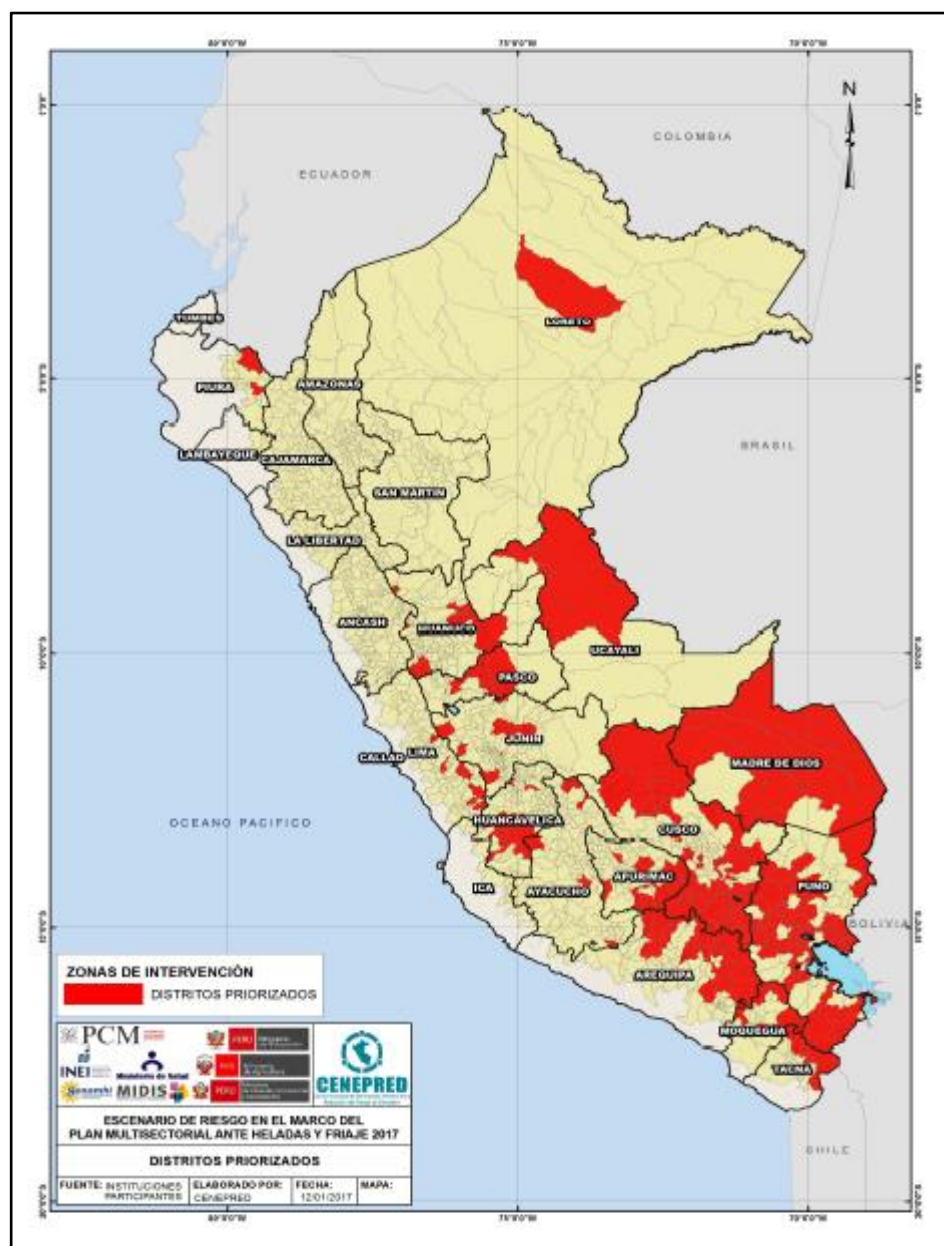


## Anexo 8: Mapa de Distribución de la Tasa de Desnutrición en Distritos Afectados por Heladas y Friajes





## Anexo 9: Mapa de Distritos Priorizados para el Plan Multisectorial ante Heladas y Frijas 2017



**Anexo 10: Listado de Distritos Priorizados 2017 según el Plan Multisectorial Ante Heladas y Friajes**

#	Distrito	Fenómeno
1	ACHAYA,AZANGARO,PUNO	Helada
2	ARAPA,AZANGARO,PUNO	Helada
3	ASILLO,AZANGARO,PUNO	Helada
4	AZANGARO,AZANGARO,PUNO	Helada
5	CAMINACA,AZANGARO,PUNO	Helada
6	CHUPA,AZANGARO,PUNO	Helada
7	MUÑANI,AZANGARO,PUNO	Helada
8	POTONI,AZANGARO,PUNO	Helada
9	SAMAN,AZANGARO,PUNO	Helada
10	SAN JOSE,AZANGARO,PUNO	Helada
11	SAN JUAN DE SALINAS,AZANGARO,PUNO	Helada
12	SANTIAGO DE PUPUJA,AZANGARO,PUNO	Helada
13	TIRAPATA,AZANGARO,PUNO	Helada
14	AJOYANI,CARABAYA,PUNO	Helada
15	CORANI,CARABAYA,PUNO	Helada
16	CRUCERO,CARABAYA,PUNO	Helada
17	MACUSANI,CARABAYA,PUNO	Helada
18	USICAYOS,CARABAYA,PUNO	Helada
19	ITUATA,CARABAYA,PUNO	Helada
20	HUACULLANI,CHUCUITO,PUNO	Helada
21	KELLUYO,CHUCUITO,PUNO	Helada
22	PISACOMA,CHUCUITO,PUNO	Helada
23	ZEPITA,CHUCUITO,PUNO	Helada
24	CAPAZO,EL COLLAO,PUNO	Helada
25	CONDURIRI,EL COLLAO,PUNO	Helada
26	SANTA ROSA,EL COLLAO,PUNO	Helada
27	ILAVE,EL COLLAO,PUNO	Helada
28	COJATA,HUANCANE,PUNO	Helada
29	HUATASANI,HUANCANE,PUNO	Helada
30	INCHUPALLA,HUANCANE,PUNO	Helada
31	ROSASPATA,HUANCANE,PUNO	Helada
32	VILQUE CHICO,HUANCANE,PUNO	Helada
33	PUSI,HUANCANE,PUNO	Helada
34	CALAPUJA,LAMPA,PUNO	Helada
35	LAMPA,LAMPA,PUNO	Helada
36	NICASIO,LAMPA,PUNO	Helada
37	OCUVIRI,LAMPA,PUNO	Helada
38	PALCA,LAMPA,PUNO	Helada
39	PARATIA,LAMPA,PUNO	Helada
40	VILAVILA,LAMPA,PUNO	Helada
41	ANTAUTA,MELGAR,PUNO	Helada
42	CUPI,MELGAR,PUNO	Helada

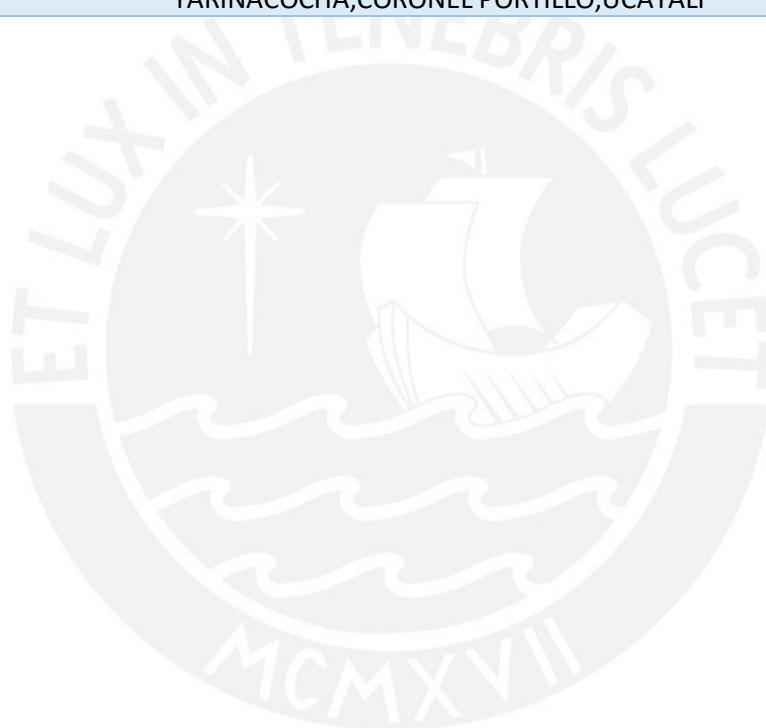
43	LLALLI,MELGAR,PUNO	Helada
44	AYAVIRI,MELGAR,PUNO	Helada
45	NUÑO A,MELGAR,PUNO	Helada
46	ORURILLO,MELGAR,PUNO	Helada
47	SANTA ROSA,MELGAR,PUNO	Helada
48	UMACHIRI,MELGAR,PUNO	Helada
49	CONIMA,MOHO,PUNO	Helada
50	HUAYRAPATA,MOHO,PUNO	Helada
51	MOHO,MOHO,PUNO	Helada
52	AMANTANI,PUNO,PUNO	Helada
53	ATUNCOLLA,PUNO,PUNO	Helada
54	CAPACHICA,PUNO,PUNO	Helada
55	COATA,PUNO,PUNO	Helada
56	SAN ANTONIO,PUNO,PUNO	Helada
57	TIQUILLACA,PUNO,PUNO	Helada
58	VILQUE,PUNO,PUNO	Helada
59	HUATA,PUNO,PUNO	Helada
60	PUNO,PUNO,PUNO	Helada
61	PEDRO VILCA APAZA,SAN ANTONIO DE PUTINA,PUNO	Helada
62	QUILCAPUNCU,SAN ANTONIO DE PUTINA,PUNO	Helada
63	CABANA,SAN ROMAN,PUNO	Helada
64	JULIACA,SAN ROMAN,PUNO	Helada
65	SAN MIGUEL,SAN ROMAN,PUNO	Helada
66	SAN JUAN DEL ORO,SANDIA,PUNO	Friaje
67	SAN PEDRO DE PUTINA PUNCO,SANDIA,PUNO	Friaje
68	YANAHUAYA,SANDIA,PUNO	Friaje
69	ANAPIA,YUNGUYO,PUNO	Helada
70	COPANI,YUNGUYO,PUNO	Helada
71	YUNGUYO,YUNGUYO,PUNO	Helada
72	CIRCA,ABANCAY,APURIMAC	Helada
73	LAMBRAMA,ABANCAY,APURIMAC	Helada
74	PAMPACHIRI,ANDAHUAYLAS,APURIMAC	Helada
75	SAN JERONIMO,ANDAHUAYLAS,APURIMAC	Helada
76	ANTABAMBA,ANTABAMBA,APURIMAC	Helada
77	OROPESA,ANTABAMBA,APURIMAC	Helada
78	JUAN ESPINOZA MEDRANO,ANTABAMBA,APURIMAC	Helada
79	SABAINO,ANTABAMBA,APURIMAC	Helada
80	CHALLHUAHUACHO,COTABAMBAS,APURIMAC	Helada
81	HAQUIRA,COTABAMBAS,APURIMAC	Helada
82	MARA,COTABAMBAS,APURIMAC	Helada
83	TAMBOBAMBA,COTABAMBAS,APURIMAC	Helada
84	COYLLURQUI,COTABAMBAS,APURIMAC	Helada
85	HUAYLLATI,GRAU,APURIMAC	Helada
86	MICAELA BASTIDAS,GRAU,APURIMAC	Helada
87	PATAYPAMPA,GRAU,APURIMAC	Helada
88	PROGRESO,GRAU,APURIMAC	Helada

89	TURPAY, GRAU, APURIMAC	Helada
90	SAN JUAN DE TARUCANI, AREQUIPA, AREQUIPA	Helada
91	YURA, AREQUIPA, AREQUIPA	Helada
92	CHOCO, CASTILLA, AREQUIPA	Helada
93	TAPAY, CAYLLOMA, AREQUIPA	Helada
94	YANQUE, CAYLLOMA, AREQUIPA	Helada
95	ICHUPAMPA, CAYLLOMA, AREQUIPA	Helada
96	LARI, CAYLLOMA, AREQUIPA	Helada
97	SAN ANTONIO DE CHUCA, CAYLLOMA, AREQUIPA	Helada
98	SIBAYO, CAYLLOMA, AREQUIPA	Helada
99	CALLALLI, CAYLLOMA, AREQUIPA	Helada
100	TISCO, CAYLLOMA, AREQUIPA	Helada
101	TUTI, CAYLLOMA, AREQUIPA	Helada
102	CAYLLOMA, CAYLLOMA, AREQUIPA	Helada
103	CAYARANI, CONDESUYOS, AREQUIPA	Helada
104	SALAMANCA, CONDESUYOS, AREQUIPA	Helada
105	ALCA, LA UNION, AREQUIPA	Helada
106	HUAYNACOTAS, LA UNION, AREQUIPA	Helada
107	PUYCA, LA UNION, AREQUIPA	Helada
108	PARAS, CANGALLO, AYACUCHO	Helada
109	CANAYRE, HUANTA, AYACUCHO	Friaje
110	LLOCHEGUA, HUANTA, AYACUCHO	Friaje
111	AYNA, LA MAR, AYACUCHO	Friaje
112	PAUSA, PAUCAR DEL SARA SARA, AYACUCHO	Helada
113	SARA SARA, PAUCAR DEL SARA SARA, AYACUCHO	Helada
114	HUACAÑA, SUCRE, AYACUCHO	Helada
115	MORCOLLA, SUCRE, AYACUCHO	Helada
116	ACOPIA, ACOMAYO, CUSCO	Helada
117	SANGARARA, ACOMAYO, CUSCO	Helada
118	HUAROCONDO, ANTA, CUSCO	Helada
119	CHECCA, CANAS, CUSCO	Helada
120	KUNTURKANKI, CANAS, CUSCO	Helada
121	LANGUI, CANAS, CUSCO	Helada
122	LAYO, CANAS, CUSCO	Helada
123	PAMPAMARCA, CANAS, CUSCO	Helada
124	QUEHUE, CANAS, CUSCO	Helada
125	TUPAC AMARU, CANAS, CUSCO	Helada
126	YANAOCA, CANAS, CUSCO	Helada
127	COMBAPATA, CANCHIS, CUSCO	Helada
128	MARANGANI, CANCHIS, CUSCO	Helada
129	PITUMARCA, CANCHIS, CUSCO	Helada
130	SICUANI, CANCHIS, CUSCO	Helada
131	CAPACMARCA, CHUMBIVILCAS, CUSCO	Helada
132	SANTO TOMAS, CHUMBIVILCAS, CUSCO	Helada
133	CHAMACA, CHUMBIVILCAS, CUSCO	Helada
134	COLQUEMARCA, CHUMBIVILCAS, CUSCO	Helada

135	LIVITACA,CHUMBIVILCAS,CUSCO	Helada
136	LLUSCO,CHUMBIVILCAS,CUSCO	Helada
137	QUIÑOTA,CHUMBIVILCAS,CUSCO	Helada
138	VELILLE,CHUMBIVILCAS,CUSCO	Helada
139	CCORCA,CUSCO,CUSCO	Helada
140	ALTO PICHIGUA,ESPINAR,CUSCO	Helada
141	SUYCKUTAMBO,ESPINAR,CUSCO	Helada
142	ESPINAR,ESPINAR,CUSCO	Helada
143	CONDOROMA,ESPINAR,CUSCO	Helada
144	COPORAQUE,ESPINAR,CUSCO	Helada
145	OCORURO,ESPINAR,CUSCO	Helada
146	PALLPATA,ESPINAR,CUSCO	Helada
147	PICHIGUA,ESPINAR,CUSCO	Helada
148	ECHARATE,LA CONVENCION,CUSCO	Friaje
149	MEGANTONI,LA CONVENCION,CUSCO	Friaje
150	QUELLOUNO,LA CONVENCION,CUSCO	Friaje
151	MARANURA,LA CONVENCION,CUSCO	Friaje
152	OCOBAMBA,LA CONVENCION,CUSCO	Friaje
153	SANTA ANA,LA CONVENCION,CUSCO	Friaje
154	COLCHA,PARURO,CUSCO	Helada
155	PARURO,PARURO,CUSCO	Helada
156	HUANOQUITE,PARURO,CUSCO	Helada
157	KOSÑIPATA,PAUCARTAMBO,CUSCO	Friaje
158	CCARHUAYO,QUISPICANCHI,CUSCO	Helada
159	MARCAPATA,QUISPICANCHI,CUSCO	Helada
160	QUIQUIJANA,QUISPICANCHI,CUSCO	Helada
161	OCONGATE,QUISPICANCHI,CUSCO	Helada
162	ARMA,CASTROVIRREYNA,HUANCAVELICA	Helada
163	CASTROVIRREYNA,CASTROVIRREYNA,HUANCAVELICA	Helada
164	COCAS,CASTROVIRREYNA,HUANCAVELICA	Helada
165	MOLLEPAMPA,CASTROVIRREYNA,HUANCAVELICA	Helada
166	SANTA ANA,CASTROVIRREYNA,HUANCAVELICA	Helada
167	HUACHOCOLPA,HUANCAVELICA,HUANCAVELICA	Helada
168	PILCHACA,HUANCAVELICA,HUANCAVELICA	Helada
169	HUAYTARA,HUAYTARA,HUANCAVELICA	Helada
170	PILPICHACA,HUAYTARA,HUANCAVELICA	Helada
171	SAN ANTONIO DE CUSICANCHA,HUAYTARA,HUANCAVELICA	Helada
172	ÑAHUIMPUQUIO,TAYACAJA,HUANCAVELICA	Helada
173	PAMPAS,TAYACAJA,HUANCAVELICA	Helada
174	QUICHUAS,TAYACAJA,HUANCAVELICA	Helada
175	CHUQUIS,DOS DE MAYO,HUANUCO	Helada
176	CANCHABAMBA,HUACAYBAMBA,HUANUCO	Helada
177	PUÑOS,HUAMALIES,HUANUCO	Helada
178	JESUS,LAURICOCHA,HUANUCO	Helada
179	SAN MIGUEL DE CAURI,LAURICOCHA,HUANUCO	Helada
180	CASTILLO GRANDE,LEONCIO PRADO,HUANUCO	Friaje

181	DANIEL ALOMIA ROBLES,LEONCIO PRADO,HUANUCO	Friaaje
182	HERMILIO VALDIZAN,LEONCIO PRADO,HUANUCO	Friaaje
183	MARIANO DAMASO BERAUN,LEONCIO PRADO,HUANUCO	Friaaje
184	LUYANDO,LEONCIO PRADO,HUANUCO	Friaaje
185	RUPA-RUPA,LEONCIO PRADO,HUANUCO	Friaaje
186	CODO DEL POZUZO,PUERTO INCA,HUANUCO	Friaaje
187	SAN LUIS DE SHUARO,CHANCHAMAYO,JUNIN	Friaaje
188	VITOC,CHANCHAMAYO,JUNIN	Friaaje
189	YANACANCHA,CHUPACA,JUNIN	Helada
190	HEROINAS TOLEDO,CONCEPCION,JUNIN	Helada
191	MONOBAMBA,JAUIJA,JUNIN	Friaaje
192	PAMPA HERMOSA,SATIPO,JUNIN	Friaaje
193	HUAY-HUAY,YAULI,JUNIN	Helada
194	MARCAPOMACOCCHA,YAULI,JUNIN	Helada
195	SUITUCANCHA,YAULI,JUNIN	Helada
196	HUANZA,HUAROCHIRI,LIMA	Helada
197	HUAROCHIRI,HUAROCHIRI,LIMA	Helada
198	HONGOS,YAUYOS,LIMA	Helada
199	LINCHA,YAUYOS,LIMA	Helada
200	HUANTAN,YAUYOS,LIMA	Helada
201	MIRAFLORES,YAUYOS,LIMA	Helada
202	VITIS,YAUYOS,LIMA	Helada
203	TUPE,YAUYOS,LIMA	Helada
204	TANTA,YAUYOS,LIMA	Helada
205	ICHUÑA,GENERAL SANCHEZ CERRO,MOQUEGUA	Helada
206	PUQUINA,GENERAL SANCHEZ CERRO,MOQUEGUA	Helada
207	UBINAS,GENERAL SANCHEZ CERRO,MOQUEGUA	Helada
208	CARUMAS,MARISCAL NIETO,MOQUEGUA	Helada
209	CHONTABAMBA,OXAPAMPA,PASCO	Friaaje
210	HUANCABAMBA,OXAPAMPA,PASCO	Friaaje
211	OXAPAMPA,OXAPAMPA,PASCO	Friaaje
212	PALCAZU,OXAPAMPA,PASCO	Friaaje
213	POZUZO,OXAPAMPA,PASCO	Friaaje
214	VILLA RICA,OXAPAMPA,PASCO	Friaaje
215	CHAUPIMARCA,PASCO,PASCO	Helada
216	TICLACAYAN,PASCO,PASCO	Helada
217	AYABACA,AYABACA,PIURA	Helada
218	HUANCABAMBA,HUANCABAMBA,PIURA	Helada
219	CANDARAVE,CANDARAVE,TACNA	Helada
220	PALCA,TACNA,TACNA	Helada
221	SUSAPAYA,TARATA,TACNA	Helada
222	TARATA,TARATA,TACNA	Helada
223	TICACO,TARATA,TACNA	Helada
224	ALTO NANAY,MAYNAS,LORETO	Friaaje
225	IQUITOS,MAYNAS,LORETO	Friaaje
226	PUNCHANA,MAYNAS,LORETO	Friaaje

227	FITZCARRALD,MANU,MADRE DE DIOS	Friaje
228	HUEPETUHE,MANU,MADRE DE DIOS	Friaje
229	MADRE DE DIOS,MANU,MADRE DE DIOS	Friaje
230	IÑAPARI,TAHUAMANU,MADRE DE DIOS	Friaje
231	IBERIA,TAHUAMANU,MADRE DE DIOS	Friaje
232	TAHUAMANU,TAHUAMANU,MADRE DE DIOS	Friaje
233	LABERINTO,TAMBOPATA,MADRE DE DIOS	Friaje
234	LAS PIEDRAS,TAMBOPATA,MADRE DE DIOS	Friaje
235	TAMBOPATA,TAMBOPATA,MADRE DE DIOS	Friaje
236	IPARIA,CORONEL PORTILLO,UCAYALI	Friaje
237	MASISEA,CORONEL PORTILLO,UCAYALI	Friaje
238	NUEVA REQUENA,CORONEL PORTILLO,UCAYALI	Friaje
239	CALLERIA,CORONEL PORTILLO,UCAYALI	Friaje
240	MANANTAY,CORONEL PORTILLO,UCAYALI	Friaje
241	YARINACOA,CORONEL PORTILLO,UCAYALI	Friaje





## Anexo 11: Índice de Pobreza de Departamentos Estadísticamente Semejantes (2007-2016)

AÑO	GRUPO	DEPARTAMENTOS	Intervalos de confianza al 95%	
			Inferior	Superior
2007	Grupo 1	Huancavelica	80,9	89,1
	Grupo 2	Apurímac, Ayacucho, Cajamarca, Huánuco	65,2	71,1
	Grupo 3	Amazonas, Cusco, Loreto, Pasco, Piura, Puno, San Martín	54,1	59,0
	Grupo 4	Áncash, Junín, La Libertad, Lambayeque, Ucayali	40,7	46,6
	Grupo 5	Arequipa, Ica, Lima, Moquegua, Tacna, Tumbes	23,5	27,2
	Grupo 6	Madre de Dios	10,1	17,6
2008	Grupo 1	Huancavelica	74,2	84,8
	Grupo 2	Apurímac	64,0	76,9
	Grupo 3	Amazonas, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huánuco, Loreto, Pasco, Puno	54,5	59,2
	Grupo 4	Piura	43,6	55,3
	Grupo 5	Áncash, Junín, La Libertad, Lambayeque, Moquegua, San Martín, Ucayali	34,9	40,1
	Grupo 6	Lima, Tacna, Tumbes	19,7	23,9
	Grupo 7	Arequipa, Ica, Madre de Dios	14,2	19,5
2009	Grupo 1	Apurímac, Huancavelica	70,0	77,7
	Grupo 2	Amazonas, Ayacucho, Cajamarca, Huánuco, Loreto, Pasco, Puno, San Martín	53,0	57,4
	Grupo 3	Cusco, Piura	37,3	45,9
	Grupo 4	Áncash, Junín, La Libertad, Lambayeque, Ucayali	30,7	36,3
	Grupo 5	Arequipa, Ica, Lima <sup>1</sup> , Moquegua, Tacna, Tumbes	15,2	18,6
	Grupo 6	Madre de Dios	3,5	8,8
2010	Grupo 1	Apurímac, Huancavelica	58,2	66,8
	Grupo 2	Amazonas, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huánuco, Loreto, Piura, Puno	46,7	50,9
	Grupo 3	Lambayeque, Pasco, San Martín	33,6	41,4
	Grupo 4	Áncash, Junín, La Libertad, Ucayali	25,5	31,6
	Grupo 5	Arequipa, Ica, Lima <sup>1</sup> , Moquegua, Tacna, Tumbes	14,2	17,2
	Grupo 6	Madre de Dios	2,8	7,2
2011	Grupo 1	Apurímac, Ayacucho, Cajamarca, Huancavelica, Huánuco	52,2	57,7
	Grupo 2	Amazonas, Loreto, Pasco, Piura, Puno	37,4	42,8
	Grupo 3	Áncash, Cusco, Junín, La Libertad, Lambayeque, San Martín	26,4	30,6
	Grupo 4	Lima <sup>1</sup> , Tacna	14,1	17,6
	Grupo 5	Arequipa, Ica, Moquegua, Tumbes, Ucayali	10,1	13,5
	Grupo 6	Madre de Dios	2,0	6,3
2012	Grupo 1	Apurímac, Ayacucho, Cajamarca, Huancavelica	50,1	56,5
	Grupo 2	Amazonas, Huánuco, Loreto, Pasco, Piura, Puno	36,5	41,2
	Grupo 3	Áncash, Cusco, Junín, La Libertad, Lambayeque, San Martín	24,4	28,5
	Grupo 4	Arequipa, Lima <sup>1</sup> , Tacna, Tumbes, Ucayali	12,5	15,6
	Grupo 5	Ica, Moquegua	6,5	10,2
	Grupo 6	Madre de Dios	0,5	4,2



AÑO	GRUPO	DEPARTAMENTOS	Intervalos de confianza al 95%	
			Inferior	Superior
2013	Grupo 1	Amazonas, Ayacucho, Cajamarca, Huancavelica, Pasco	47,8	53,3
	Grupo 2	Apurímac, Huánuco, Loreto, Piura	35,1	40,1
	Grupo 3	La Libertad, Puno, San Martín	28,0	33,2
	Grupo 4	Áncash, Cusco, Junín, Lambayeque	19,5	23,4
	Grupo 5	Provincia Callao, Provincia Lima, Región Lima, Tacna, Tumbes, Ucayali	11,7	14,5
	Grupo 6	Arequipa, Moquegua	7,0	11,0
	Grupo 7	Ica, Madre de Dios	3,1	6,0
2014	Grupo 1	Amazonas, Ayacucho, Cajamarca, Huancavelica	47,5	53,1
	Grupo 2	Apurímac, Huánuco, Loreto, Pasco	35,7	41,2
	Grupo 3	La Libertad, Piura, Puno, San Martín	27,3	31,8
	Grupo 4	Áncash, Cusco, Junín, Lambayeque	19,2	23,2
	Grupo 5	Provincia Callao, Provincia Lima, Región Lima, Moquegua, Tacna, Tumbes, Ucayali	10,8	13,4
	Grupo 6	Arequipa, Madre de Dios	5,8	9,7
	Grupo 7	Ica	2,5	5,7
2015	Grupo 1	Amazonas, Cajamarca, Huancavelica	44,7	51,7
	Grupo 2	Apurímac, Ayacucho, Huánuco, Loreto, Pasco, Puno	34,3	38,5
	Grupo 3	Áncash, La Libertad, Piura, San Martín	24,8	29,0
	Grupo 4	Cusco, Junín, Lambayeque, Región Lima	16,8	20,8
	Grupo 5	Provincia Callao, Provincia Lima, Tacna, Tumbes, Ucayali	9,8	12,6
	Grupo 6	Arequipa, Madre de Dios y Moquegua	6,7	9,8
	Grupo 7	Ica	3,2	6,7
2016	Grupo 1	Cajamarca, Huancavelica	43,8	50,9
	Grupo 2	Amazonas, Apurímac, Ayacucho, Huánuco, Loreto, Pasco, Piura, Puno	32,4	36,1
	Grupo 3	Áncash, Cusco, La Libertad, San Martín	20,6	24,7
	Grupo 4	Junín, Lambayeque, Tacna	14,0	18,1
	Grupo 5	Arequipa, Madre de Dios, Moquegua, Provincia Callao, Provincia Lima, Región Lima, Tumbes, Ucayali	9,6	12,0
	Grupo 6	Ica	1,8	4,3

## Anexo 12: Cantidad Total de Kits a Repartir (Escenario Inicial)

#	Distrito	Kits de Abrigo para niños	Kits de Abrigo para adultos	Kits de Alimento	Kits Abono Foliar	Kits Semillas de Cultivo	Kits Semillas Pasto
1	SANTA ANA, LA CONVENCION, CUSCO	2452	3278	8	14	1308	3
2	MARANURA, LA CONVENCION, CUSCO	378	932	4	10	942	1
3	OCOBAMBA, LA CONVENCION, CUSCO	556	651	15	3	254	0
4	QUELLOUNO, LA CONVENCION, CUSCO	1765	1834	27	11	1078	1
5	KOSNIPATA, PAUCARTAMBO, CUSCO	634	495	38	9	1433	0
6	CAMANTI, QUISPICANCHI, CUSCO	169	194	6	1	20	4
7	TAMBOPATA, TAMBOPATA, MADRE DE DIOS	7340	4769	270	17	3074	9
8	INAMBARI, TAMBOPATA, MADRE DE DIOS	930	524	73	9	1744	2
9	LAS PIEDRAS, TAMBOPATA, MADRE DE DIOS	604	472	182	10	1934	9
10	LABERINTO, TAMBOPATA, MADRE DE DIOS	576	218	80	7	1220	0
11	MADRE DE DIOS, MANU, MADRE DE DIOS	1384	331	26	4	648	0
12	HUEPETUHE, MANU, MADRE DE DIOS	587	204	28	1	6	3
13	INAPARI, TAHUAMANU, MADRE DE DIOS	140	110	122	3	512	0
14	IBERIA, TAHUAMANU, MADRE DE DIOS	664	641	95	1	10	6
15	TAHUAMANU, TAHUAMANU, MADRE DE DIOS	253	247	46	1	2	0
16	AYAPATA, CARABAYA, PUNO	1624	759	81	7	644	2
17	SAN GABAN, CARABAYA, PUNO	576	222	23	3	294	0
18	SAN JUAN DEL ORO, SANDIA, PUNO	1139	965	1	7	606	1
19	YANAHUAYA, SANDIA, PUNO	258	181	4	5	446	2
20	ALTO INAMBARI, SANDIA, PUNO	1086	695	3	6	558	0
21	SAN PEDRO DE PUTINA PUNCO, SANDIA, PUNO	1497	704	1	13	1234	0
22	ABANCAY, ABANCAY, APURIMAC	4947	3407	18	12	1180	103
23	TAMBURCO, ABANCAY, APURIMAC	819	646	6	2	162	55
24	SAN JUAN DE TARUCANI, AREQUIPA, AREQUIPA	154	282	409	0	0	0

25	CALLALLI, CAYLLOMA, AREQUIPA	135	343	1560	1	2	42
26	SAN ANTONIO DE CHUCA, CAYLLOMA, AREQUIPA	156	215	831	1	2	0
27	TISCO, CAYLLOMA, AREQUIPA	149	225	1363	0	0	3
28	CUSCO, CUSCO, CUSCO	8123	12350	157	5	500	13
29	POROY, CUSCO, CUSCO	839	636	29	2	148	2
30	SAN JERONIMO, CUSCO, CUSCO	4023	3483	110	6	550	22
31	SAN SEBASTIAN, CUSCO, CUSCO	9249	8284	78	6	596	22
32	SANTIAGO, CUSCO, CUSCO	7650	7159	117	3	264	6
33	SAYLLA, CUSCO, CUSCO	471	361	23	2	122	5
34	WANCHAQ, CUSCO, CUSCO	3915	7563	102	5	468	17
35	ANTA, ANTA, CUSCO	1392	1780	445	16	1556	68
36	ANCAHUASI, ANTA, CUSCO	581	896	193	6	580	52
37	CACHIMAYO, ANTA, CUSCO	185	272	77	3	294	24
38	HUAROCONDO, ANTA, CUSCO	510	708	259	8	857	19
39	LIMATAMBO, ANTA, CUSCO	827	1279	241	13	1236	62
40	PUCYURA, ANTA, CUSCO	431	391	80	3	296	15
41	ZURITE, ANTA, CUSCO	243	534	161	6	520	73
42	CALCA, CALCA, CUSCO	2140	2045	366	9	890	80
43	YANATILE, CALCA, CUSCO	1227	1339	57	10	934	12
44	CHECCA, CANAS, CUSCO	739	718	670	3	288	42
45	KUNTURKANKI, CANAS, CUSCO	541	740	461	2	130	97
46	LANGUI, CANAS, CUSCO	244	372	167	3	234	69
47	LAYO, CANAS, CUSCO	700	752	546	4	348	180
48	QUEHUE, CANAS, CUSCO	407	391	341	7	1033	4
49	SICUANI, CANCHIS, CUSCO	5452	5969	1051	17	1610	49
50	CHECACUPE, CANCHIS, CUSCO	444	632	646	4	362	33
51	MARANGANI, CANCHIS, CUSCO	1016	1506	951	8	720	90
52	SAN PABLO, CANCHIS, CUSCO	406	770	657	5	412	25
53	SAN PEDRO, CANCHIS, CUSCO	159	591	61	3	222	3

54	TINTA, CANCHIS, CUSCO	443	804	130	5	418	20
55	LIVITACA, CHUMBIVILCAS, CUSCO	1719	1425	1098	9	804	40
56	CONDOROMA, ESPINAR, CUSCO	121	175	649	0	0	0
57	OCORURO, ESPINAR, CUSCO	132	255	662	1	12	35
58	PALLPATA, ESPINAR, CUSCO	520	717	1194	1	18	36
59	PICHIGUA, ESPINAR, CUSCO	287	532	470	1	62	39
60	ALTO PICHIGUA, ESPINAR, CUSCO	306	525	333	1	26	5
61	HUAYOPATA, LA CONVENCION, CUSCO	273	817	18	8	718	1
62	SANTA TERESA, LA CONVENCION, CUSCO	482	794	93	9	864	1
63	MARCAPATA, QUISPICANCHI, CUSCO	564	580	615	4	348	1
64	OROPESA, QUISPICANCHI, CUSCO	652	718	110	4	388	32
65	URUBAMBA, URUBAMBA, CUSCO	1867	2171	72	8	742	16
66	CHINCHERO, URUBAMBA, CUSCO	847	1122	248	7	676	21
67	HUAYLLABAMBA, URUBAMBA, CUSCO	412	716	80	5	480	9
68	MACHUPICCHU, URUBAMBA, CUSCO	538	603	14	1	94	2
69	MARAS, URUBAMBA, CUSCO	509	866	216	12	1164	2
70	OLLANTAYTAMBO, URUBAMBA, CUSCO	1146	1085	313	8	808	16
71	YUCAY, URUBAMBA, CUSCO	267	550	21	3	298	11
72	CARUMAS, MARISCAL NIETO, MOQUEGUA	305	932	936	7	688	316
73	CUCHUMBAYA, MARISCAL NIETO, MOQUEGUA	113	438	35	5	444	147
74	SAMEGUA, MARISCAL NIETO, MOQUEGUA	455	706	10	2	116	48
75	SAN CRISTOBAL, MARISCAL NIETO, MOQUEGUA	191	641	111	5	486	300
76	TORATA, MARISCAL NIETO, MOQUEGUA	362	754	163	9	810	438
77	OMATE, GENERAL SANCHEZ CERRO, MOQUEGUA	322	806	61	6	574	52
78	CHOJATA, GENERAL SANCHEZ CERRO, MOQUEGUA	193	287	146	1	88	52
79	COALAQUE, GENERAL SANCHEZ CERRO, MOQUEGUA	72	228	37	4	382	285
80	ICHUNA, GENERAL SANCHEZ CERRO, MOQUEGUA	401	643	700	3	266	17
81	LLOQUE, GENERAL SANCHEZ CERRO, MOQUEGUA	159	207	103	1	50	17
82	MATALAQUE, GENERAL SANCHEZ CERRO, MOQUEGUA	79	258	33	2	162	86

83	PUQUINA, GENERAL SANCHEZ CERRO, MOQUEGUA	191	557	68	6	556	503
84	UBINAS, GENERAL SANCHEZ CERRO, MOQUEGUA	217	674	763	7	618	443
85	YUNGA, GENERAL SANCHEZ CERRO, MOQUEGUA	241	271	80	1	60	20
86	PUNO, PUNO, PUNO	12305	10270	745	5	468	2
87	ACORA, PUNO, PUNO	2531	4340	2124	26	2566	286
88	AMANTANI, PUNO, PUNO	480	526	57	3	286	0
89	ATUNCOLLA, PUNO, PUNO	761	506	491	10	918	265
90	CAPACHICA, PUNO, PUNO	854	2479	425	11	1060	13
91	CHUCUITO, PUNO, PUNO	552	1365	289	10	1068	1
92	COATA, PUNO, PUNO	885	773	379	9	834	130
93	HUATA, PUNO, PUNO	930	1372	283	4	336	224
94	MANAZO, PUNO, PUNO	624	670	986	9	888	165
95	PAUCARCOLLA, PUNO, PUNO	559	778	525	11	1050	116
96	PICHACANI, PUNO, PUNO	538	700	1577	2	122	8
97	PLATERIA, PUNO, PUNO	543	1517	344	8	776	3
98	SAN ANTONIO, PUNO, PUNO	423	299	695	1	14	2
99	TIQUILLACA, PUNO, PUNO	170	369	388	2	140	4
100	VILQUE, PUNO, PUNO	360	315	300	2	176	56
101	AZANGARO, AZANGARO, PUNO	3058	2598	1325	13	1228	207
102	ACHAYA, AZANGARO, PUNO	525	473	273	8	774	145
103	ARAPA, AZANGARO, PUNO	823	1071	495	7	694	123
104	ASILLO, AZANGARO, PUNO	2069	1894	713	21	2022	480
105	CAMINACA, AZANGARO, PUNO	404	457	335	8	752	64
106	CHUPA, AZANGARO, PUNO	1038	1761	386	14	1362	45
107	JOSE DOMINGO CHOQUEHUANCA, AZANGARO, PUNO	525	636	131	3	250	45
108	MUNANI, AZANGARO, PUNO	1017	794	1092	4	344	58
109	POTONI, AZANGARO, PUNO	808	468	998	1	18	1
110	SAMAN, AZANGARO, PUNO	1527	1629	623	13	1274	228
111	SAN ANTON, AZANGARO, PUNO	1101	1009	670	4	354	50

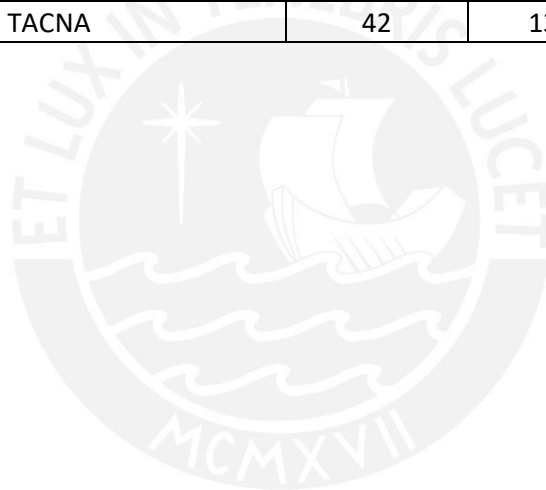
112	SAN JOSE, AZANGARO, PUNO	584	713	711	2	130	91
113	SAN JUAN DE SALINAS, AZANGARO, PUNO	539	506	258	6	546	54
114	SANTIAGO DE PUPUJA, AZANGARO, PUNO	482	882	542	9	882	78
115	TIRAPATA, AZANGARO, PUNO	385	342	296	1	66	109
116	MACUSANI, CARABAYA, PUNO	1845	831	1689	2	196	0
117	AJOYANI, CARABAYA, PUNO	289	179	362	1	2	1
118	COASA, CARABAYA, PUNO	1832	1152	431	7	890	0
119	CORANI, CARABAYA, PUNO	549	301	721	7	1216	0
120	CRUCERO, CARABAYA, PUNO	1184	765	840	1	50	1
121	ITUATA, CARABAYA, PUNO	851	395	442	5	412	0
122	OLLACHEA, CARABAYA, PUNO	915	457	448	4	382	0
123	USICAYOS, CARABAYA, PUNO	2911	1371	824	4	392	1
124	JULI, CHUCUITO, PUNO	2012	2631	1526	18	1734	91
125	DESAGUADERO, CHUCUITO, PUNO	3263	2017	196	3	220	6
126	HUACULLANI, CHUCUITO, PUNO	2519	2105	833	3	258	65
127	KELLUYO, CHUCUITO, PUNO	2739	2020	924	10	952	46
128	PISACOMA, CHUCUITO, PUNO	1166	1269	1198	1	26	1
129	POMATA, CHUCUITO, PUNO	1539	2263	561	17	1930	113
130	ZEPITA, CHUCUITO, PUNO	2056	2547	675	19	1842	99
131	ILAVE, EL COLLAO, PUNO	5044	6178	1851	34	3346	297
132	CAPAZO, EL COLLAO, PUNO	207	207	752	0	0	0
133	PILCUYO, EL COLLAO, PUNO	987	2571	383	14	1346	98
134	SANTA ROSA, EL COLLAO, PUNO	794	866	1564	0	0	0
135	CONDURIRI, EL COLLAO, PUNO	392	616	1001	1	52	0
136	HUANCANE, HUANCANE, PUNO	1569	3301	807	27	2848	117
137	COJATA, HUANCANE, PUNO	513	434	1645	1	82	0
138	HUATASANI, HUANCANE, PUNO	538	689	168	4	332	52
139	INCHUPALLA, HUANCANE, PUNO	326	503	363	3	284	22
140	PUSI, HUANCANE, PUNO	601	876	293	6	502	28

141	ROSASPATA, HUANCANE, PUNO	521	1001	658	5	474	59
142	TARACO, HUANCANE, PUNO	1260	1956	710	27	2632	828
143	VILQUE CHICO, HUANCANE, PUNO	776	2044	812	14	1324	43
144	LAMPA, LAMPA, PUNO	943	1491	1407	3	228	171
145	CABANILLA, LAMPA, PUNO	520	729	840	8	778	300
146	CALAPUJA, LAMPA, PUNO	132	232	162	2	108	10
147	NICASIO, LAMPA, PUNO	288	323	290	2	184	42
148	OCUVIRI, LAMPA, PUNO	328	262	713	1	4	7
149	PALCA, LAMPA, PUNO	257	246	431	1	54	0
150	PARATIA, LAMPA, PUNO	768	611	1046	0	0	0
151	PUCARA, LAMPA, PUNO	492	754	697	2	178	377
152	SANTA LUCIA, LAMPA, PUNO	851	697	2512	1	8	1
153	VILAVILA, LAMPA, PUNO	443	214	236	0	0	0
154	AYAVIRI, MELGAR, PUNO	2148	1834	1325	3	266	67
155	ANTAUTA, MELGAR, PUNO	492	405	700	1	86	29
156	CUPI, MELGAR, PUNO	414	309	259	1	72	35
157	LLALLI, MELGAR, PUNO	466	441	349	2	154	70
158	MACARI, MELGAR, PUNO	966	839	1021	2	164	381
159	NUNOA, MELGAR, PUNO	1327	1122	1949	1	44	231
160	ORURILLO, MELGAR, PUNO	1269	1340	730	10	906	428
161	SANTA ROSA, MELGAR, PUNO	911	746	857	1	92	174
162	UMACHIRI, MELGAR, PUNO	476	460	613	2	118	60
163	MOHO, MOHO, PUNO	1405	2960	769	16	1866	1
164	CONIMA, MOHO, PUNO	235	604	62	4	364	1
165	HUAYRAPATA, MOHO, PUNO	488	493	219	1	56	18
166	TILALI, MOHO, PUNO	242	487	83	4	314	1
167	PUTINA, SAN ANTONIO DE PUTINA, PUNO	2599	2425	1430	4	398	21
168	ANANEA, SAN ANTONIO DE PUTINA, PUNO	4056	701	967	0	0	0
169	PEDRO VILCA APAZA, SAN ANTONIO DE PUTINA, PUNO	256	480	163	3	272	4

170	QUILCAPUNCU, SAN ANTONIO DE PUTINA, PUNO	681	559	670	2	128	10
171	SINA, SAN ANTONIO DE PUTINA, PUNO	206	113	142	1	76	1
172	JULIACA, SAN ROMAN, PUNO	22674	12573	910	7	700	348
173	CABANA, SAN ROMAN, PUNO	370	639	544	7	640	72
174	CABANILLAS, SAN ROMAN, PUNO	601	641	1302	2	136	74
175	CARACOTO, SAN ROMAN, PUNO	676	743	492	5	492	309
176	SAN MIGUEL, SAN ROMAN, PUNO	5537	2027	812	5	428	280
177	SANDIA, SANDIA, PUNO	1524	1200	56	8	708	1
178	CUYOCUYO, SANDIA, PUNO	599	519	279	4	346	0
179	LIMBANI, SANDIA, PUNO	416	330	91	2	200	20
180	PATAMBUCO, SANDIA, PUNO	540	344	403	5	414	0
181	PHARA, SANDIA, PUNO	573	359	19	3	315	0
182	QUIACA, SANDIA, PUNO	337	164	88	2	130	0
183	YUNGUYO, YUNGUYO, PUNO	2668	3245	379	25	2402	4
184	ANAPIA, YUNGUYO, PUNO	215	405	25	1	92	0
185	COPANI, YUNGUYO, PUNO	511	731	99	6	596	1
186	CUTURAPI, YUNGUYO, PUNO	115	199	20	2	114	1
187	OLLARAYA, YUNGUYO, PUNO	339	856	59	4	302	1
188	TINICACHI, YUNGUYO, PUNO	125	138	12	1	84	1
189	UNICACHI, YUNGUYO, PUNO	159	597	31	2	153	0
190	INCLAN, TACNA, TACNA	678	864	74	13	2101	193
191	PACHIA, TACNA, TACNA	120	360	27	4	352	90
192	PALCA, TACNA, TACNA	147	231	232	2	128	54
193	CANDARAVE, CANDARAVE, TACNA	228	475	327	7	616	573
194	CAIRANI, CANDARAVE, TACNA	113	198	44	4	376	269
195	CAMILACA, CANDARAVE, TACNA	98	246	44	5	408	89
196	CURIBAYA, CANDARAVE, TACNA	8	44	8	1	54	29
197	HUANUARA, CANDARAVE, TACNA	57	177	19	3	256	193
198	QUILAHUANI, CANDARAVE, TACNA	104	185	26	4	314	210



199	LOCUMBA, JORGE BASADRE, TACNA	188	256	35	2	108	118
200	ILABAYA, JORGE BASADRE, TACNA	178	348	31	4	326	83
201	TARATA, TARATA, TACNA	282	460	328	3	290	141
202	HEROES ALBARRACIN, TARATA, TACNA	41	173	9	2	172	43
203	ESTIQUE, TARATA, TACNA	48	145	3	2	132	10
204	ESTIQUE-PAMPA, TARATA, TACNA	34	140	1	1	60	5
205	SITAJARA, TARATA, TACNA	38	178	12	2	110	41
206	SUSAPAYA, TARATA, TACNA	44	168	191	2	158	70
207	TARUCACHI, TARATA, TACNA	28	83	5	1	84	9
208	TICACO, TARATA, TACNA	42	138	38	4	365	37



### Anexo 13: Localización de Almacenes y Porcentaje de Ocupación para el Escenario Inicial

#	Distrito	¿Se construye almacén?	Volumen Ocupado (m3)	Porcentaje Ocupación
1	SANTA ANA, LA CONVENCION, CUSCO	NO	0.00	0%
2	MARANURA, LA CONVENCION, CUSCO	NO	0.00	0%
3	OCOBAMBA, LA CONVENCION, CUSCO	NO	0.00	0%
4	QUELLOUNO, LA CONVENCION, CUSCO	NO	0.00	0%
5	KOSNIPATA, PAUCARTAMBO, CUSCO	NO	0.00	0%
6	CAMANTI, QUISPICANCHI, CUSCO	NO	0.00	0%
7	TAMBOPATA, TAMBOPATA, MADRE DE DIOS	SÍ	1149.96	72%
8	INAMBARI, TAMBOPATA, MADRE DE DIOS	NO	0.00	0%
9	LAS PIEDRAS, TAMBOPATA, MADRE DE DIOS	NO	0.00	0%
10	LABERINTO, TAMBOPATA, MADRE DE DIOS	NO	0.00	0%
11	MADRE DE DIOS, MANU, MADRE DE DIOS	NO	0.00	0%
12	HUEPETUHE, MANU, MADRE DE DIOS	NO	0.00	0%
13	INAPARI, TAHUAMANU, MADRE DE DIOS	NO	0.00	0%
14	IBERIA, TAHUAMANU, MADRE DE DIOS	NO	0.00	0%
15	TAHUAMANU, TAHUAMANU, MADRE DE DIOS	NO	0.00	0%
16	AYAPATA, CARABAYA, PUNO	NO	0.00	0%
17	SAN GABAN, CARABAYA, PUNO	NO	0.00	0%
18	SAN JUAN DEL ORO, SANDIA, PUNO	NO	0.00	0%
19	YANAHUAYA, SANDIA, PUNO	NO	0.00	0%
20	ALTO INAMBARI, SANDIA, PUNO	NO	0.00	0%
21	SAN PEDRO DE PUTINA PUNCO, SANDIA, PUNO	NO	0.00	0%
22	ABANCAY, ABANCAY, APURIMAC	NO	0.00	0%
23	TAMBURCO, ABANCAY, APURIMAC	NO	0.00	0%
24	SAN JUAN DE TARUCANI, AREQUIPA, AREQUIPA	NO	0.00	0%
25	CALLALLI, CAYLLOMA, AREQUIPA	NO	0.00	0%
26	SAN ANTONIO DE CHUCA, CAYLLOMA, AREQUIPA	NO	0.00	0%
27	TISCO, CAYLLOMA, AREQUIPA	NO	0.00	0%
28	CUSCO, CUSCO, CUSCO	SÍ	1419.92	89%
29	POROY, CUSCO, CUSCO	NO	0.00	0%
30	SAN JERONIMO, CUSCO, CUSCO	NO	0.00	0%
31	SAN SEBASTIAN, CUSCO, CUSCO	SÍ	1599.99	100%
32	SANTIAGO, CUSCO, CUSCO	NO	0.00	0%
33	SAYLLA, CUSCO, CUSCO	NO	0.00	0%
34	WANCHAQ, CUSCO, CUSCO	NO	0.00	0%
35	ANTA, ANTA, CUSCO	NO	0.00	0%
36	ANCAHUASI, ANTA, CUSCO	NO	0.00	0%
37	CACHIMAYO, ANTA, CUSCO	NO	0.00	0%

38	HUAROCONDO, ANTA, CUSCO	NO	0.00	0%
39	LIMATAMBO, ANTA, CUSCO	NO	0.00	0%
40	PUCYURA, ANTA, CUSCO	NO	0.00	0%
41	ZURITE, ANTA, CUSCO	NO	0.00	0%
42	CALCA, CALCA, CUSCO	NO	0.00	0%
43	YANATILE, CALCA, CUSCO	NO	0.00	0%
44	CHECCA, CANAS, CUSCO	NO	0.00	0%
45	KUNTURKANKI, CANAS, CUSCO	NO	0.00	0%
46	LANGUI, CANAS, CUSCO	NO	0.00	0%
47	LAYO, CANAS, CUSCO	NO	0.00	0%
48	QUEHUE, CANAS, CUSCO	NO	0.00	0%
49	SICUANI, CANCHIS, CUSCO	SÍ	1600.00	100%
50	CHECACUPE, CANCHIS, CUSCO	NO	0.00	0%
51	MARANGANI, CANCHIS, CUSCO	NO	0.00	0%
52	SAN PABLO, CANCHIS, CUSCO	NO	0.00	0%
53	SAN PEDRO, CANCHIS, CUSCO	NO	0.00	0%
54	TINTA, CANCHIS, CUSCO	NO	0.00	0%
55	LIVITACA, CHUMBIVILCAS, CUSCO	NO	0.00	0%
56	CONDOROMA, ESPINAR, CUSCO	NO	0.00	0%
57	OCORURO, ESPINAR, CUSCO	NO	0.00	0%
58	PALLPATA, ESPINAR, CUSCO	NO	0.00	0%
59	PICHIGUA, ESPINAR, CUSCO	NO	0.00	0%
60	ALTO PICHIGUA, ESPINAR, CUSCO	NO	0.00	0%
61	HUAYOPATA, LA CONVENCION, CUSCO	NO	0.00	0%
62	SANTA TERESA, LA CONVENCION, CUSCO	SÍ	1112.76	70%
63	MARCAPATA, QUISPICANCHI, CUSCO	NO	0.00	0%
64	OROPESA, QUISPICANCHI, CUSCO	NO	0.00	0%
65	URUBAMBA, URUBAMBA, CUSCO	NO	0.00	0%
66	CHINCHERO, URUBAMBA, CUSCO	NO	0.00	0%
67	HUAYLLABAMBA, URUBAMBA, CUSCO	NO	0.00	0%
68	MACHUPICCHU, URUBAMBA, CUSCO	NO	0.00	0%
69	MARAS, URUBAMBA, CUSCO	SÍ	1591.28	99%
70	OLLANTAYTAMBO, URUBAMBA, CUSCO	NO	0.00	0%
71	YUCAY, URUBAMBA, CUSCO	NO	0.00	0%
72	CARUMAS, MARISCAL NIETO, MOQUEGUA	NO	0.00	0%
73	CUCHUMBAYA, MARISCAL NIETO, MOQUEGUA	NO	0.00	0%
74	SAMEGUA, MARISCAL NIETO, MOQUEGUA	NO	0.00	0%
75	SAN CRISTOBAL, MARISCAL NIETO, MOQUEGUA	NO	0.00	0%
76	TORATA, MARISCAL NIETO, MOQUEGUA	NO	0.00	0%
77	OMATE, GENERAL SANCHEZ CERRO, MOQUEGUA	NO	0.00	0%
78	CHOJATA, GENERAL SANCHEZ CERRO, MOQUEGUA	NO	0.00	0%
79	COALAQUE, GENERAL SANCHEZ CERRO, MOQUEGUA	NO	0.00	0%

80	ICHUNA, GENERAL SANCHEZ CERRO, MOQUEGUA	NO	0.00	0%
81	LLOQUE, GENERAL SANCHEZ CERRO, MOQUEGUA	NO	0.00	0%
82	MATALAQUE, GENERAL SANCHEZ CERRO, MOQUEGUA	NO	0.00	0%
83	PUQUINA, GENERAL SANCHEZ CERRO, MOQUEGUA	NO	0.00	0%
84	UBINAS, GENERAL SANCHEZ CERRO, MOQUEGUA	NO	0.00	0%
85	YUNGA, GENERAL SANCHEZ CERRO, MOQUEGUA	NO	0.00	0%
86	PUNO, PUNO, PUNO	SÍ	1600.00	100%
87	ACORA, PUNO, PUNO	NO	0.00	0%
88	AMANTANI, PUNO, PUNO	NO	0.00	0%
89	ATUNCOLLA, PUNO, PUNO	NO	0.00	0%
90	CAPACHICA, PUNO, PUNO	NO	0.00	0%
91	CHUCUITO, PUNO, PUNO	NO	0.00	0%
92	COATA, PUNO, PUNO	NO	0.00	0%
93	HUATA, PUNO, PUNO	NO	0.00	0%
94	MANAZO, PUNO, PUNO	NO	0.00	0%
95	PAUCARCOLLA, PUNO, PUNO	NO	0.00	0%
96	PICHACANI, PUNO, PUNO	NO	0.00	0%
97	PLATERIA, PUNO, PUNO	NO	0.00	0%
98	SAN ANTONIO, PUNO, PUNO	NO	0.00	0%
99	TIQUILLACA, PUNO, PUNO	NO	0.00	0%
100	VILQUE, PUNO, PUNO	NO	0.00	0%
101	AZANGARO, AZANGARO, PUNO	SÍ	1600.00	100%
102	ACHAYA, AZANGARO, PUNO	NO	0.00	0%
103	ARAPA, AZANGARO, PUNO	NO	0.00	0%
104	ASILLO, AZANGARO, PUNO	NO	0.00	0%
105	CAMINACA, AZANGARO, PUNO	NO	0.00	0%
106	CHUPA, AZANGARO, PUNO	NO	0.00	0%
107	JOSE DOMINGO CHOQUEHUANCA, AZANGARO, PUNO	NO	0.00	0%
108	MUNANI, AZANGARO, PUNO	NO	0.00	0%
109	POTONI, AZANGARO, PUNO	NO	0.00	0%
110	SAMAN, AZANGARO, PUNO	SÍ	1599.99	100%
111	SAN ANTON, AZANGARO, PUNO	NO	0.00	0%
112	SAN JOSE, AZANGARO, PUNO	NO	0.00	0%
113	SAN JUAN DE SALINAS, AZANGARO, PUNO	NO	0.00	0%
114	SANTIAGO DE PUPUJA, AZANGARO, PUNO	NO	0.00	0%
115	TIRAPATA, AZANGARO, PUNO	NO	0.00	0%
116	MACUSANI, CARABAYA, PUNO	SÍ	1599.97	100%
117	AJOYANI, CARABAYA, PUNO	NO	0.00	0%
118	COASA, CARABAYA, PUNO	NO	0.00	0%
119	CORANI, CARABAYA, PUNO	NO	0.00	0%

120	CRUCERO, CARABAYA, PUNO	NO	0.00	0%
121	ITUATA, CARABAYA, PUNO	NO	0.00	0%
122	OLLACHEA, CARABAYA, PUNO	NO	0.00	0%
123	USICAYOS, CARABAYA, PUNO	NO	0.00	0%
124	JULI, CHUCUITO, PUNO	NO	0.00	0%
125	DESAGUADERO, CHUCUITO, PUNO	NO	0.00	0%
126	HUACULLANI, CHUCUITO, PUNO	SÍ	1400.87	88%
127	KELLUYO, CHUCUITO, PUNO	NO	0.00	0%
128	PISACOMA, CHUCUITO, PUNO	NO	0.00	0%
129	POMATA, CHUCUITO, PUNO	NO	0.00	0%
130	ZEPITA, CHUCUITO, PUNO	SÍ	1364.13	85%
131	ILAVE, EL COLLAO, PUNO	SÍ	1600.00	100%
132	CAPAZO, EL COLLAO, PUNO	NO	0.00	0%
133	PILCUYO, EL COLLAO, PUNO	NO	0.00	0%
134	SANTA ROSA, EL COLLAO, PUNO	NO	0.00	0%
135	CONDURIRI, EL COLLAO, PUNO	NO	0.00	0%
136	HUANCANE, HUANCANE, PUNO	NO	0.00	0%
137	COJATA, HUANCANE, PUNO	NO	0.00	0%
138	HUATASANI, HUANCANE, PUNO	NO	0.00	0%
139	INCHUPALLA, HUANCANE, PUNO	NO	0.00	0%
140	PUSI, HUANCANE, PUNO	NO	0.00	0%
141	ROSASPATA, HUANCANE, PUNO	NO	0.00	0%
142	TARACO, HUANCANE, PUNO	NO	0.00	0%
143	VILQUE CHICO, HUANCANE, PUNO	SÍ	1599.99	100%
144	LAMPA, LAMPA, PUNO	NO	0.00	0%
145	CABANILLA, LAMPA, PUNO	NO	0.00	0%
146	CALAPUJA, LAMPA, PUNO	NO	0.00	0%
147	NICASIO, LAMPA, PUNO	NO	0.00	0%
148	OCUVIRI, LAMPA, PUNO	NO	0.00	0%
149	PALCA, LAMPA, PUNO	NO	0.00	0%
150	PARATIA, LAMPA, PUNO	NO	0.00	0%
151	PUCARA, LAMPA, PUNO	NO	0.00	0%
152	SANTA LUCIA, LAMPA, PUNO	NO	0.00	0%
153	VILAVILA, LAMPA, PUNO	NO	0.00	0%
154	AYAVIRI, MELGAR, PUNO	NO	0.00	0%
155	ANTAUTA, MELGAR, PUNO	NO	0.00	0%
156	CUPI, MELGAR, PUNO	NO	0.00	0%
157	LLALLI, MELGAR, PUNO	NO	0.00	0%
158	MACARI, MELGAR, PUNO	NO	0.00	0%
159	NUNOA, MELGAR, PUNO	NO	0.00	0%
160	ORURILLO, MELGAR, PUNO	NO	0.00	0%
161	SANTA ROSA, MELGAR, PUNO	NO	0.00	0%
162	UMACHIRI, MELGAR, PUNO	SÍ	1599.99	100%
163	MOHO, MOHO, PUNO	NO	0.00	0%
164	CONIMA, MOHO, PUNO	NO	0.00	0%
165	HUAYRAPATA, MOHO, PUNO	NO	0.00	0%

166	TILALI, MOHO, PUNO	NO	0.00	0%
167	PUTINA, SAN ANTONIO DE PUTINA, PUNO	NO	0.00	0%
168	ANANEA, SAN ANTONIO DE PUTINA, PUNO	NO	0.00	0%
169	PEDRO VILCA APAZA, SAN ANTONIO DE PUTINA, PUNO	NO	0.00	0%
170	QUILCAPUNCU, SAN ANTONIO DE PUTINA, PUNO	NO	0.00	0%
171	SINA, SAN ANTONIO DE PUTINA, PUNO	NO	0.00	0%
172	JULIACA, SAN ROMAN, PUNO	SÍ	1600.00	100%
173	CABANA, SAN ROMAN, PUNO	NO	0.00	0%
174	CABANILLAS, SAN ROMAN, PUNO	SÍ	1600.00	100%
175	CARACOTO, SAN ROMAN, PUNO	NO	0.00	0%
176	SAN MIGUEL, SAN ROMAN, PUNO	NO	0.00	0%
177	SANDIA, SANDIA, PUNO	NO	0.00	0%
178	CUYOCUYO, SANDIA, PUNO	NO	0.00	0%
179	LIMBANI, SANDIA, PUNO	NO	0.00	0%
180	PATAMBUCO, SANDIA, PUNO	SÍ	1599.98	100%
181	PHARA, SANDIA, PUNO	NO	0.00	0%
182	QUIACA, SANDIA, PUNO	NO	0.00	0%
183	YUNGUYO, YUNGUYO, PUNO	NO	0.00	0%
184	ANAPIA, YUNGUYO, PUNO	NO	0.00	0%
185	COPANI, YUNGUYO, PUNO	NO	0.00	0%
186	CUTURAPI, YUNGUYO, PUNO	NO	0.00	0%
187	OLLARAYA, YUNGUYO, PUNO	NO	0.00	0%
188	TINICACHI, YUNGUYO, PUNO	NO	0.00	0%
189	UNICACHI, YUNGUYO, PUNO	NO	0.00	0%
190	INCLAN, TACNA, TACNA	NO	0.00	0%
191	PACHIA, TACNA, TACNA	NO	0.00	0%
192	PALCA, TACNA, TACNA	NO	0.00	0%
193	CANDARAVE, CANDARAVE, TACNA	NO	0.00	0%
194	CAIRANI, CANDARAVE, TACNA	NO	0.00	0%
195	CAMILACA, CANDARAVE, TACNA	SÍ	1534.18	96%
196	CURIBAYA, CANDARAVE, TACNA	NO	0.00	0%
197	HUANUARA, CANDARAVE, TACNA	NO	0.00	0%
198	QUILAHUANI, CANDARAVE, TACNA	NO	0.00	0%
199	LOCUMBA, JORGE BASADRE, TACNA	NO	0.00	0%
200	ILABAYA, JORGE BASADRE, TACNA	NO	0.00	0%
201	TARATA, TARATA, TACNA	NO	0.00	0%
202	HEROES ALBARRACIN, TARATA, TACNA	NO	0.00	0%
203	ESTIQUE, TARATA, TACNA	NO	0.00	0%
204	ESTIQUE-PAMPA, TARATA, TACNA	NO	0.00	0%
205	SITAJARA, TARATA, TACNA	NO	0.00	0%
206	SUSAPAYA, TARATA, TACNA	NO	0.00	0%
207	TARUCACHI, TARATA, TACNA	NO	0.00	0%
208	TICACO, TARATA, TACNA	NO	0.00	0%