

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**La vida en cuestión de segundos: “Propuesta de optimización de la
distribución de ayuda humanitaria ante una posible erupción del volcán
Cotopaxi en el Cantón Rumiñahui”**

**Marcelo Andrés Ayala Jaramillo
Juan Carlos Celleri Maldonado**

Cristina Camacho, M.Sc., Directora de Tesis

Tesis de Grado presentada como requisito para la obtención del Título de Ingeniero
Industrial

Quito, mayo de 2014

Universidad San Francisco De Quito

Colegio Ciencias e Ingeniería

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

La vida en cuestión de segundos: “Propuesta de optimización de la distribución de ayuda humanitaria en ante una posible erupción del volcán Cotopaxi en el Cantón Rumiñahui”

Marcelo Andrés Ayala Jaramillo

Juan Carlos Celleri Maldonado

Cristina Camacho, M.Sc.
Director de Tesis y
Miembro del Comité de Tesis.....

Ximena Córdova, Ph.D.
Miembro del Comité de Tesis.....
Decana de la Escuela de Ingeniería
Colegio de Ciencias e Ingeniería

Carlos Suarez, Ph.D.
Miembro del Comité de Tesis.....

Pablo Dávila, Ph.D.
Miembro del Comité de Tesis.....

Quito, mayo de 2014

©DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la política

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior

Firma: _____

Nombre: Marcelo Andrés Ayala Jaramillo

C.I.: 1716497464

Firma: _____

Nombre: Juan Carlos Celleri Maldonado

C.I.: 1714230008

Fecha: Quito, mayo de 2014

DEDICATORIA

A todas las personas que apoyaron para la creación del presente estudio. En especial a mis padres Marcelo y Liliana junto con mi querida hermana Valeria. Adicionalmente a los habitantes del cantón Rumiñahui con el afán de mitigar los efectos del riesgo latente que representa el volcán Cotopaxi.

Marcelo Ayala

La presente tesis la dedico a mis padres por su apoyo incondicional a lo largo de todos estos años de mi carrera universitaria; gracias a la formación y los valores que han inculcado en mí he podido finalizar con éxito esta etapa de mi vida. A mis hermanas, que aunque lejos siempre estuvieron presentes motivándome para ser una mejor persona y dar lo mejor de mí.

A Cristina Camacho, por su tiempo brindado, guía incondicional y profesional como también por sus consejos a lo largo de este proyecto. Sin lugar a duda, su amor, dedicación y paciencia la convierten en un ser humano excepcional.

Finalmente, dedico este proyecto a mi novia Carolina Mora, quien me ha apoyado y ha estado a mi lado siempre en las buenas y malas, guiándome y dándome siempre sus mejores consejos.

Juan Carlos Celleri

AGRADECIMIENTOS

A los profesores e instituciones que aportaron con su conocimiento e información para el desarrollo de este estudio. A mi familia y amigos que me dieron su apoyo incondicional en todo momento.

Una especial mención a Cristina Camacho por su confianza y guía durante estos meses dedicados a la creación de esta propuesta.

A mi compañero de tesis Juan Carlos Celleri por compartir conmigo los momentos alegres y los difíciles que se presentaron durante la realización de nuestro trabajo.

Marcelo Ayala

En primer lugar quiero agradecer a Dios, por haberme dado tantas bendiciones a la largo de mi vida. Gracias señor, por la salud, humildad, sabiduría y sobre todo por ponerme en el camino a todas estas personas que en mis momentos de más angustia supieron guiarme y apoyarme con un granito de arena.

Quiero agradecer a mi Madre, por su ejemplo de mujer luchadora quien con amor ha sabido sacar adelante a toda mi familia. Un agradecimiento muy especial a ella, ya que sin su amor muchos de mis sueños no serían realidad.

Gracias a Ximena Córdova, quien ha sido a lo largo de mi carrera universitaria una madre más, quien me ha sabido orientar y guiar siempre por el camino del bien. Gracias a su lucha constante por el deseo de enseñar.

Finalmente quiero agradecer a Marcelo Ayala, quien indudablemente ha sido un excelente compañero y apoyo a lo largo de este proyecto. Gracias Chelo por el soporte brindado en los momentos más difíciles. Sin tu positivismo y ganas de salir adelante este proyecto no hubiera sido una realidad.

Gracias esas personas importantes en mi vida.

Juan Carlos Celleri

RESUMEN

El Valle de los Chillos, ubicado al Suroriente del Distrito Metropolitano de Quito, es uno de los puntos que más se vería afectado en caso de una posible erupción del volcán Cotopaxi. Sumado a esto, el desordenado aumento de su densidad poblacional ha incrementado notablemente la vulnerabilidad e inseguridad de las personas frente a esta amenaza. Por tanto, el objetivo de esta investigación es diseñar un plan eficiente de evacuación basado en un modelo matemático que permita salvaguardar la integridad de la población del cantón Rumiñahui en caso de una emergencia por la erupción del volcán, el mismo que incluye: 1) la determinación de la cantidad de individuos afectados, 2) la apertura de albergues y centros de distribución con un inventario pre posicionado de paquetes de ayuda humanitaria. Para esto, se pudo determinar cuáles serían las zonas de mayor afectación, en base a simulaciones realizadas mediante sistemas de información geográfica (SIG). Esta información se tomó como entrada para realizar un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta multi-criterio, el mismo que sirvió para minimizar el tiempo total requerido para evacuar a las personas y el costo de la operación logística del rescate, para lo cual, se tiene que abrir albergues y centros de distribución, al igual que transportar los paquetes de ayuda.

ABSTRACT

The “Valle de los Chillos”, valley located at the Southeast of the metropolitan district of Quito, is one of the key points that would be affected in case of a Cotopaxi Volcano eruption. Plus, a disorganized increase of the population density has significantly increased the vulnerability and insecurity of citizens facing this threat. For this reason, this investigation’s goal is to design an efficient evacuation plan based on a mathematical model in order to safeguard the integrity of the Rumiñahui’s canton population in case of an volcano emergency, which will include: 1) determining the number of individuals affected, 2) opening shelters and distribution centers with pre-positioned inventory of aid packages. For this purpose, based on simulations using geographic information systems (GIS), it was determined which areas will be the most affected; information that served as input for the Integer Linear Programming Model used to minimize the total time required to evacuate people and the total cost of logistics rescue operation. For this, it’s necessary to open shelters and distribution centers to transport aid packages from the distribution centers to the shelters.

Tabla de contenidos

RESUMEN	7
ABSTRACT	8
CAPÍTULO 1. - INTRODUCCIÓN.....	18
1.1. Antecedentes	18
1.2. Justificación	20
1.3. Modelo de desastres y como ayuda la prevención.....	23
1.4. Problema del estudio.....	26
1.5. Objetivo general.....	28
1.6. Objetivos específicos	28
1.7. Alcance	29
1.7.1. Factores incluidos	29
1.7.2. Factores excluidos	29
2. CAPÍTULO 2.- MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN LITERARIA	31
2.1. MARCO TEÓRICO	31
2.1.1. Logística	31
2.1.2. Logística humanitaria	31
2.1.3. Logística de saneamiento de emergencias.....	31
2.1.4. Suministros humanitarios	32
2.1.5. Investigación de operaciones.....	32
2.1.6. Clasificación de los modelos de optimización en investigación de operaciones	33
2.1.7. Modelos de programación multi-criterio.....	34
2.1.8. Red logística	35
2.1.9. Planificación de la distribución	35
2.1.10. Modelos de transporte.....	36
2.1.11. Métodos utilizados en la representación de un escenario en la logística humanitaria	37
2.1.12. Proyecto esfera.....	38
2.1.13. Etapas en las operaciones en la gestión de desastres	38
2.1.14. AIMMS software de modelamiento.....	40
2.1.15. Frontera Pareto.....	41
2.1.16. Métodos para resolver problemas de optimización multi-objetivo	42
2.2. REVISIÓN LITERARIA.....	45
2.2.1. Metodología de la revisión literaria.....	46
2.2.2. Definiciones.....	47
2.2.3. Logística humanitaria; una visión general.....	49
2.2.4. Diferencias entre la logística humanitaria y la logística comercial	50

	10
2.2.5. Logística de socoro	51
2.2.6. Ubicación de las instalaciones	52
2.2.7. Rutas para los vehículos	53
2.2.8. Planeación de entrega last mile	56
2.2.9. Manejo de inventarios	57
2.2.10. Pasos a seguir en la ayuda humanitaria	58
CAPÍTULO 3.- DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA A UTILIZAR	61
Metodología método científico.....	61
3.2. Justificación de la metodología.....	62
3.3. Método científico sustentado en la programación matemática.....	62
3.4. Sistemas de información geográfica (SIG).....	64
3.5. Método Delphi	65
CAPÍTULO 4.- CARACTERIZACIÓN DE ESCENARIOS CATASTRÓFICOS	67
4.1. Riesgos inducidos en el Ecuador	67
4.2. Riesgos naturales en el Ecuador	68
4.2.1. Clasificación de Riesgos Naturales en el Ecuador	68
4.3. Descripción y Evaluación del Riesgo	76
4.4. Peligros Asociados.....	77
4.5. Límites de la Zonificación y Área de Estudio	81
4.5.1. Administración Zonal Valle de los Chillos (AZVCH).....	82
4.5.2. Cantón Rumiñahui.....	82
4.5.3. Delimitación del área de estudio	83
4.6. Análisis de la Vulnerabilidad de la Población del Valle de Los Chillos	84
4.6.1. Características Generales.....	84
4.6.2. Estructura de la población	87
4.6.3. Evolución de la población	88
4.6.4. Descripción de la situación de riesgo descrita por el municipio de Rumiñahui.	90
CAPÍTULO 5. - MODELACIÓN PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN	93
5.1. Antecedentes	93
5.2. Supuestos considerados para la modelación.....	93
5.3. Formulación	95
5.3.1. Explicación de las funciones objetivo	99
5.3.2. Explicación de las restricciones.....	99
5.3.3. Decisiones resultantes del modelo.....	101
5.4. Información de entrada para la realización del modelo	101
5.4.1. Localización e identificación de las zonas de riesgo.....	102

5.4.2.	Localización de todos los posibles albergues y puntos seguros	111
5.4.3.	Localización de los posibles albergues determinados	113
5.4.4.	Determinación de la capacidad de los albergues	114
5.4.5.	Costo por enviar una tonelada desde el centro de distribución a los albergues y costos de operación	117
5.4.6.	Cantidad de volumen de producto	120
5.4.7.	Determinación de la capacidad de aprovisionamiento de los centros de distribución.	129
5.4.8.	Velocidad de desplazamiento y tiempo de evacuación en función de la distancia de las zonas de riesgo de los albergues.	131
5.4.9.	Tiempo de evacuación en minutos.	135
5.4.10.	Estimación de cantidad de personas afectadas por cada diferente zona de riesgo.	135
5.4.11.	Costo fijo por abrir un centro de distribución	136
CAPÍTULO 6- RESULTADOS DE LA MODELACIÓN		139
6.1.	Minimización del tiempo total.	140
6.2.	Minimización del Costo Total.	146
6.3.	Delimitación de la frontera Pareto minimizando Tiempo vs. Costo.....	153
CAPÍTULO 7.- CONSLUSIONES Y RECOMENDACIONES		156
7.1.	Hallazgos más significativos del Estudio.	156
7.2.	Limitaciones del estudio	158
7.3.	Recomendaciones	158
7.4.	Futuros estudios.	160
BIBLIOGRAFÍA		162
ANEXOS		167
ANEXO 1: FLUJOGRAMA DE LA METODOLOGIA A UTILIZAR.FUENTE ELABORACIÓN PROPIA.		167
ANEXO 2: ENTREVISTA REALIZADA A RODRIGO ROSERO.....		168
ANEXO 3: UBICACIÓN DEL VALLE DE LOS CHILLOS CON RESPECTO AL VOLCÁN COTOPAXI. FUENTE: PROYECTO PREVOLCO, 2004.....		172
ANEXO 4: MAPA DE PELIGROSIDAD POR FLUJOS DE LODO DEL VOLCÁN COTOPAXI.		173
ANEXO 5: RESUMEN DE LUGARES DE AFECTACIÓN SEGÚN SU ZONIFICACIÓN.....		174
ANEXO 6: ASIGNACIÓN DE LAS PERSONAS A LOS ALBERGUES MINIMIZANDO EL COSTO TOTAL		176
ANEXO 7: ASIGNACIÓN DE LAS PERSONAS A LOS ALBERGUES MINIMIZANDO EL TIEMPO TOTAL		177
ANEXO 8: DISTANCIA ESTIMADA DESDE LOS CENTROS DE DISTRIBUCIÓN A LOS POSIBLES ALBERGUES		178

ANEXO 9: DISTANCIA ESTIMADAS DESDE LAS ZONAS DE RIESGO A LOS ALBERGUES.....	179
ANEXO 10: TIEMPO ESTIMADOS DESDE LAS ZONAS DE RIESGO A LOS ALBERGUES (min.).....	180
ANEXO 11: ESTIMACIÓN PERSONAS AFECTADAS POR LAHAR EN CADA ZONA.....	181
ANEXO 12: ESTIMACIÓN CAPACIDAD ALBERGUES Y CENTROS DE DISTRIBUCIÓN JUNTO CON COSTO DE APERTURA	182
ANEXO 13: CÓDIGO UTILIZADO EN AIMMS PARA LA RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA	183
ANEXO 14: INFORMACIÓN ACERCA DE LOS PAQUETES DE PRODUCTOS ENVIADOS.....	186
ANEXO 15: MODELAMIENTO DEL PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN LA INTERFAZ DE AIMMS	187

TABLAS

Tabla 1	Tabla de definiciones y terminología en logística humanitaria. Fuente Estrategia Internacional de reducción de desastres, (2009).....	48
Tabla 2	Amenazas Naturales acontecidas en el Ecuador desde 1587-1999. Fuente Cruz roja del Ecuador, (2012)	70
Tabla 3	Población rural y urbana en el Valle de Los Chillos Fuente: INEC, 2010.....	85
Tabla 4	Características de los albergues y sitios seguros. Fuente: Proyecto Esfera, 2004	112
Tabla 5	Capacidades de los albergues identificados. Fuente: Elaboración propia	116
Tabla 6	Especificaciones de los vehículos disponibles para la ayuda humanitaria de las poblaciones de emergencia. Elaboración propia ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 7	Dispensa alimentaria para cuatro personas para un periodo de 4 días. Fuente: SINAPROC 2010	122
Tabla 8.	Características de los kits alimenticios. Fuente elaboración propia con los datos de la (Organización Panamericana de la Salud, 2000)	124
Tabla 9	Características de los kits de aseo personal. Fuente: Organización Panamericana de la Salud, 2000	124
Tabla 10	Lista de precios de aseo personal. Fuente: Elaboración propia con datos del Supermaxi.....	125
Tabla 11	Características de los kits de aseo personal. Fuente elaboración propia con los datos del Supermaxi, 2014	125
Tabla 12	Suministros Médicos. Elaboración Propia con datos del Ministerio de Salud Pública	127
Tabla 13	Cantidades y productos kit de abrigo y protección. Fuente Ministerio de Salud Pública, 2014	128
Tabla 14	Características de este kit, se pueden observar en la tabla 14	128
Tabla 15	Posibles centros de Distribución. Fuente de Elaboración Propia.	130
Tabla 16	Velocidad de desplazamiento según edad y sexo. Fuente: (Mitchel, CGB, & Stokes, 1982)	133
Tabla 17	Velocidad de desplazamiento según pendiente Fuente: (Mitchel, CGB, & Stokes, 1982)	134
Tabla 18	Asignación de personas de las poblaciones de riesgo a los albergues mediante AIMMS. Fuente: Elaboración propia.	141
Tabla 19	Asignación de los centros de distribución a los albergues. Fuente: Elaboración propia.....	142
Tabla 20	Apertura de los albergues tomando en cuenta el criterio de minimización del tiempo total de evacuación. Fuente: Elaboración propia mediante AIMMS ...	143
Tabla 21	Apertura de los posibles centros de distribución tomando en consideración el criterio de minimización del tiempo. Fuente: Elaboración Propia.	144
Tabla 22	Asignación de los kits de ayuda humanitaria desde los centros de distribución a los albergues	144

Tabla 23 Valores óptimos tomando en consideración el criterio de minimización del tiempo. Fuente: Elaboración propia.....	145
Tabla 24 Extracto de la asignación de las personas afectadas a los albergues tomando en cuenta el criterio de minimización del costo. Fuente: Elaboración.....	147
Tabla 25 Apertura de los albergues tomando en cuenta el criterio de optimización de minimización del costo total de la operación logística. Fuente de Elaboración propia mediante AIMMS.....	149
Tabla 26 Apertura de los posibles Centros de Distribución	150
Tabla 27 Distribución de los paquetes de ayuda humanitaria. Fuente de Elaboración propia.....	151
Tabla 28 Valores óptimos tomando en consideración el criterio de optimización de minimización del costo. Fuente: Elaboración propia	152
Tabla 29 Comparación entre los dos criterios de optimización. Fuente: Elaboración propia.....	152
Tabla 30 Puntos y valores obtenidos para determinar la frontera Pareto. Fuente de Elaboración propia.....	153
Tabla 31 Diferencias en tiempos y costos de acuerdo a la asignación de pesos.	155

FIGURAS

Figura 1-1 Numero de desastres ocurridos en el Ecuador por Año (Fuente: STR, 2005)	18
Figura 1-2 Relación directa entre el crecimiento del PIB y los desastres naturales (Fuente: Banco Central, 2005).....	22
Figura 1-3 Mitigación de Daños con prevención. Fuente: Figuera, (2008)	24
Figura 1-4 Ciclo Vicioso de los Desastres. Fuente: Figuera, (2008).....	25
Figura 1-5 Quebrando el Círculo Vicioso. Fuente: Figueira, (2007)	26
Figura 2-1 Representación del Modelo de Transporte. Fuente Hillier & Lieberman, (2008)	36
Figura 2-2 Manejo continuo en Emergencias. Fuente: Emergency Management Planning, (2011)	40
Figura 2-3 Frontera Pareto. Fuente: Osorio & Lasso, (2012).....	42
Figura 4-1 Clasificación de los desastres según su origen. Fuente International Institute for Geo Information Science and Earth.....	67
Figura 4-2 Pareto de Fenómenos Naturales Acontecidos en el Ecuador. Fuente elaboración propia con datos de la Cruz Roja	72
Figura 4-3 Catástrofes Naturales Registradas desde el año 1500- 2000 en el Ecuador. Fuente: Fundación Natura, Defensa Civil, Lloy CSCA, Universite, 2004.....	73
Gráfico 4-4 Categorización de los desastres naturales según la región. Fuente elaboración propia con datos de la Cruz Roja Ecuatoriana, 2013	¡Error! Marcador no definido.
Gráfico 4-5 Diagrama de Pastel del Porcentaje de pérdidas Económicas frente una Amenaza: Fuente Elaboración Propia con datos de la Cruz Roja Ecuatoriana, 2013	74
Figura 4-6 Fotografía de una explosión del volcán Tungurahua en el 2004. Fuente: Foto de J-L-L en Pennec	78
Figura 4-7 Fotografía de los flujos piroclásticos descendiendo por los flancos del volcán Mayón Filipinas. Fuente : C Newhall, USGS	79
Figura 4-8 Fotografía de lahares descendiendo por los flancos del volcán Mayón Filipinas. Fuente: C. Newhall, USGS.....	80
Figura 4-9 Cartografía de los Lahares del Cotopaxi. Fuente: IG EPN, 2008.....	80
Figura 4-10 Ubicación área de estudio. Valle de los Chillos. Fuente: Instituto Geográfico del Ecuador, 2008	81

Figura 4-11 Conformación político administrativa de la AZVCH. Fuente Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio de Rumiñahui	82
Figura 4-121 División por Parroquias del Cantón Rumiñahui. Fuente: www.viverumiñahui.com	83
Figura 4-13 Asentamientos urbanos en zona de mayor peligro por lahares en el Valle de los Chillos. Fuente Salazar, 2008.	84
Figura 4-14 Vulnerabilidad en relación a la edad: Población Joven: Fuente INCEC, 2013	87
Figura 4-15 Vista panorámica del Valle de los Chillos. Fuente: Foto tomada por Serrano, 2006.....	89
Figura 5.3-1 Representación del modelo de optimización de evacuación como un gráfico de Red. Fuente: Elaboración propia	96
Figura 5.4-1 Diagrama de Pareto Población Afectada en las diferentes zonas de Riesgo. Fuente elaboración Propia	105
Figura 5.4-2 Zona de Riesgo1 frente a los lahares del Volcán Cotopaxi. Fuente: Arquitecto Patricio Sosa, 2013	106
Figura 5.4-3 Zona de riesgo 2 frente a los lahares del Volcán Cotopaxi. Fuente Arquitecto Patricio Sosa, 2013.	107
Figura 5.4-45 Zona de riesgo 3 frente a los lahares del Volcán Cotopaxi. Fuente: Arquitecto Patricio Sosa, 2013	108
Figura 5.4-56 Zona de riesgo5 frente a los lahares del volcán Cotopaxi. Fuente Arquitecto Patricio Sosa, 2013	109
Figura 5.4-6 Zona de Riesgo 6 frente a los lahares del Volcán Cotopaxi. Fuente: Arquitecto Patricio Sosa, 2013	110
Figura 5.4-77 Localización de albergues en el cantón Rumiñahui. Fuente de elaboración propia	113
Figura 5.4-8 Imagen satelital y Fotografía de la Iglesia central de Sanloquí. Fuente de elaboración propia	114
Figura 5.4-9 Distribución del área de las instalaciones: Fuente Elaboración propia	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5.4-10 Clasificación de suministros humanitarios. Fuente: Elaboración Propia	121
Figura 5.4-11 Etiquetas de identificación en envíos de ayuda humanitaria. Fuente: SNR, (2014)	123

Figura 6-1 Informe del procesamiento del modelo de Optimización para la minimización del Costo total de la operación logística. Fuente: Elaboración propia mediante AIMMS.....	148
Figura 6-2 Frontera Pareto. Fuente: Elaboración propia	154

CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Cada año cerca de 500 desastres naturales toman la vida de 70,000 personas y afectan a más de 200 millones de habitantes en todo el mundo (Duran, Gutierrez, & Keskinocak, 2012). La cantidad de este tipo de acontecimientos se ha incrementado con una tendencia al alza, por lo que es necesaria ayuda cada vez más compleja y especializada (Tomasini & Van Wassenhove, 2009). El número promedio de desastres naturales en todo el mundo durante el periodo comprendido entre el 2000-2004 fue 55% más alto que durante 1995-1999, dentro de esta misma ventana de tiempo 33% más personas fueron afectadas por desastres (Balcik & Beamon, 2008).

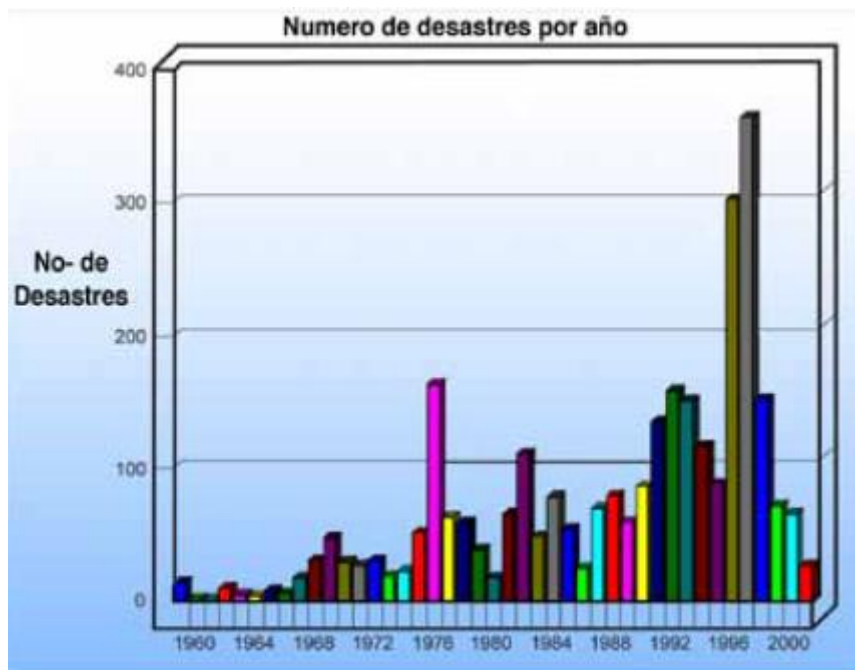


Figura 1-1 Numero de desastres ocurridos en el Ecuador por Año (Fuente: STR, 2005)

Desde hace varios años, a nivel internacional, existen estudios sobre logística humanitaria que han surgido de la necesidad de aprender las lecciones de los desastres naturales pasados, con el fin de perfeccionar la respuesta de ayuda en diferentes escenarios. Se han presentado casos en los que han existido restricciones de capacidad, costos, infraestructura, entre otros, de lo que han surgido distintos tipos de modelos y

soluciones prácticas especialmente para casos en los que no se cuenta con todos los recursos necesarios para una ayuda eficiente.

La mayor parte de la literatura actual está basada en el terremoto de Haití del año 2004 (Simpson & Hancock, 2009). De hecho, la ciudad de Puerto Príncipe sirvió como una zona de prueba donde se pudo aplicar varios de los modelos logísticos y conceptos de ayuda humanitaria ya existentes así como nuevos (Van Wassenhove, 2006).

A pesar del amplio desarrollo de estudios sobre ayuda humanitaria a nivel internacional, en el Ecuador los primeros empezaron a realizarse recientemente a raíz de los fenómenos naturales de los últimos años. Algunos de estos son la reactivación del volcán Tungurahua con lluvia de ceniza volcánica, las sequías en la región litoral y los movimientos de las placas tectónicas que han ocasionado sismos, entre otros (FAO, 2010).

Como dicta el Manual de Cooperación Internacional en su versión del año 2011:

(...) es importante mencionar que la responsabilidad de la preparación, mitigación y demás acciones encaminadas a reducir y responder a situaciones de emergencia o desastre competen al Gobierno Nacional.

Por ello, la Asistencia Humanitaria Internacional es complementaria a las acciones del Estado y responderá a una solicitud oficial de la misma....

En el Ecuador, por un lado, la Secretaría Técnica de Gestión de Riesgos es el ente encargado de crear y gestionar los planes de emergencias cuando desastres o emergencias se presentan en el país. Además, si es que el desastre natural lo amerita, agencias de ayuda multilateral, como la proveniente del Programa Mundial de Alimentos o la Cruz Roja, actúan conjuntamente con esta Secretaría (Flacso, 2008).

Por otro lado, los planes de contingencia son manejados por los gobiernos cantonales o parroquiales en coordinación con el Gobierno Central. De acuerdo al Modelo Integral de Gestión de Riesgos, se busca empoderar a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) en la prevención, mitigación, preparación, respuesta y rehabilitación necesaria en caso de emergencia (Ministerio Coordinador de Seguridad Interna y Externa; Secretaría Técnica de Gestión de Riesgos; Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, S.F).

Los planes de mitigación a nivel seccional, como en cantones y parroquias, cuentan con información básica sobre emergencias. Estos incluyen principalmente temas como la ubicación de los sitios seguros a donde las personas deben movilizarse en caso de una catástrofe natural, cuáles son las medidas que los ciudadanos deben tomar para salvaguardar su integridad, entre otros. En el Ecuador no existen estudios preventivos sobre las operaciones logísticas humanitarias civiles que deberían llevarse a cabo al momento de una emergencia para así atender de la manera más eficiente posible a las personas afectadas.

1.2. Justificación

El presente estudio en materia de logística humanitaria intenta recopilar, consolidar, analizar y presentar, de forma sistematizada, información acerca de los diferentes escenarios que podrían acontecer durante una situación de emergencia, en particular en los sectores más vulnerables del Ecuador. Todo esto, con el objetivo de brindar un método de ayuda eficiente y oportuna que permita actuar de manera preventiva ante el riesgo inminente.

Estudios similares se han llevado a cabo en diferentes partes del mundo entre los que se puede destacar los del World Food Program (WFP), debido a la necesidad de estos países en: Haití, Sudán, Etiopía, Afganistán, etc (World Food Programme, 2012). En

nuestro país, varios entes estatales y privados han definido como potencialmente elevada la vulnerabilidad a emergencias y desastres debido a la ubicación geográfica del Ecuador sobre el Cinturón de Fuego del Pacífico. Esta zona se caracteriza por estar rodeada de volcanes potencialmente activos, como en nuestro territorio están el Tungurahua, Cotopaxi, Reventador, Ruco Pichincha, entre otros. Además, la geografía ecuatoriana se ve afectada por corrientes climáticas que ocasionan inundaciones o sequías prolongadas (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2012).

“Los desastres constituyen momentos de ruptura o crisis, cuyas repercusiones en el desarrollo de una población o un territorio son determinantes y causan muchas veces un retroceso” (PNUD, 2004). Por lo que, estudiar y evaluar la cadena de suministro humanitaria es un eje de acción estratégico a fin de responder adecuadamente ante situaciones de emergencia. Todo esto, mientras se apoya al desarrollo de los países. Esta afirmación es especialmente válida para países en desarrollo, como lo demuestran estudios del Banco Mundial, en donde se afirma que midiendo el impacto que tiene los desastres sobre el PIB, en países como el Ecuador tienen un impacto negativo casi 20 veces mayor al de países más desarrollados (Toya & Skidmore, 2005). Las pérdidas que ocurren en este tipo de acontecimientos pueden tener una fuerte influencia sobre el desarrollo y la economía de cualquier país.

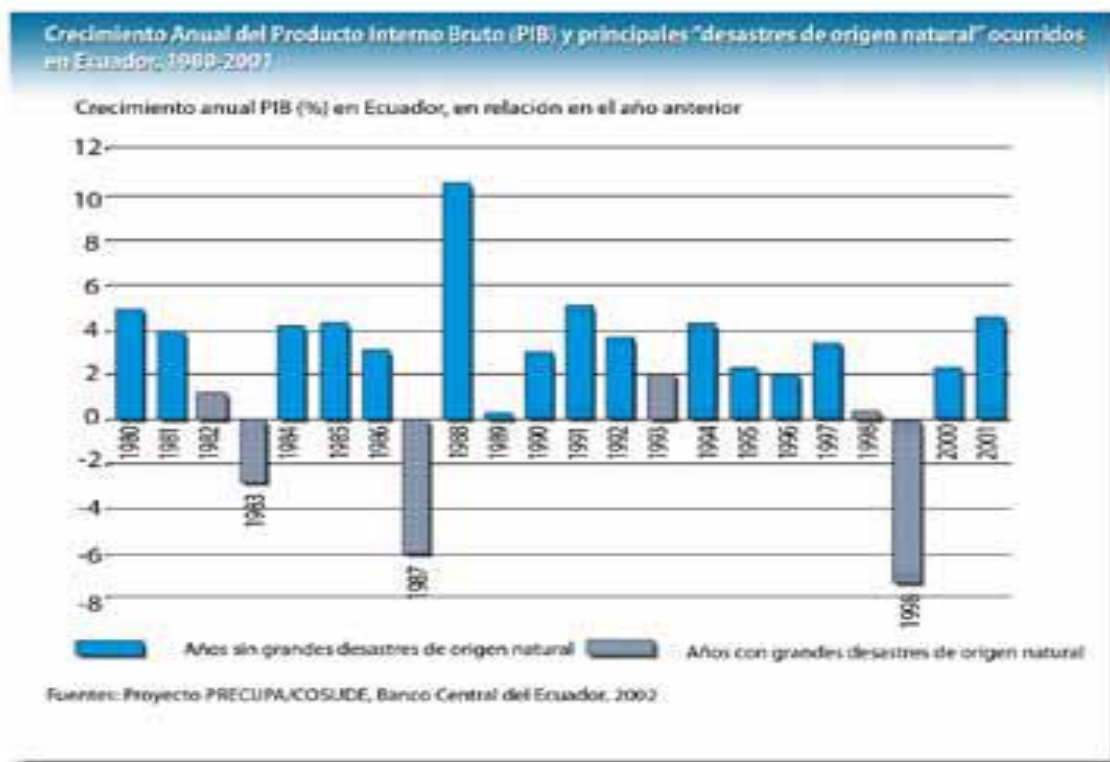


Figura 1-2 Relación directa entre el crecimiento del PIB y los desastres naturales (Fuente: Banco Central, 2005)

Como se puede apreciar en la Ilustración 1-2, realizada por el Banco Central, los años en los cuales hubo grandes desastres naturales existió una considerable reducción de PIB, es más, se observa que en los años 1963, 1987 y 1998 incluso se tuvo un índice de crecimiento negativo.

Por lo mencionado anteriormente, es de suma importancia realizar un análisis sobre la existente red logística y la búsqueda de mejores modelos de transporte y distribución de bienes y materiales para fortalecer el campo de acción humanitaria en el Ecuador. La dinámica comercial y el progreso de toda sociedad moderna están estrechamente ligados al transporte y la movilidad terrestre, pues de esta actividad depende el flujo de bienes y mercancías entre pueblos, ciudades, regiones y hasta países (Mundial, 2012); lo que supone de esta actividad un importante desafío en la planificación de las operaciones. De esta manera, un estudio encaminado hacia la red de

transporte y distribución podrá constituirse en un punto de referencia para el planteamiento de mejoras en la distribución de ayuda humanitaria en Ecuador y diferentes partes del mundo.

1.3. Modelo de desastres y como ayuda la prevención

A pesar de que de que la relación entre la frecuencia (o la Probabilidad de Ocurrencia) de cualquier catástrofe natural es inversamente proporcional a la intensidad de la misma, el hecho de que no haya ocurrido un desastre en un periodo prolongado de tiempo, junto con el cambio climático que actualmente se está experimentando, aumenta la probabilidad de que este ocurra (Kahn, 2005). Los pequeños sismos y movimientos telúricos de baja magnitud pueden ser considerados incidentes anticipando una catástrofe mayor, pero la única certeza que se puede tener es que la mayor ocurrencia de terremotos se da sobre fallas geográficas (Waldhauser & Schaff, 2008). La razón por la cual es importante la prevención de estos acontecimientos no solo radica en el sentido común, sino que tiene una explicación desde el punto de vista de los costos. Las medidas de prevención a desastres como pueden ser: implementación de mejores normas de construcción en caso de terremotos, construcción de edificaciones elevadas y resistentes al agua en caso de inundaciones, la ubicación adecuada en caso erupciones volcánicas y la educación a la población en todos los casos o planes de emergencia en como en este caso (Souhel & Graham, 2002) ayudan considerablemente a reducir los costos probables.

MITIGACIÓN DE DAÑOS CON PREVENCIÓN

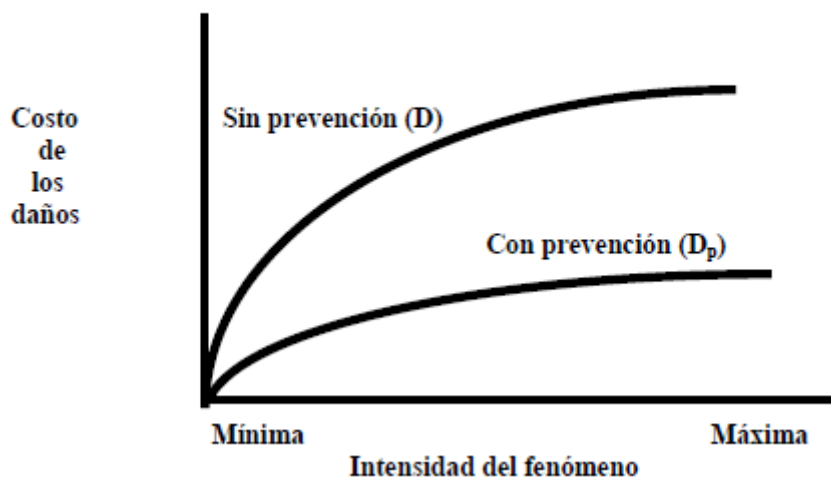


Figura 1-3 Mitigación de Daños con prevención. Fuente: Figuera, (2008)

Usualmente lo que pasa después de que ha ocurrido una catástrofe, no importa si ha sido natural o antrópico, cuando no existe una cultura del manejo del riesgo ni de los desastres se lo denomina como el círculo vicioso de los desastres (Ministerio Coordinador de Seguridad Interna y Externa; Secretaría Técnica de Gestión de Riesgos; Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, S.F). En la ilustración se pueden apreciar los distintos pasos de este ciclo continuo.

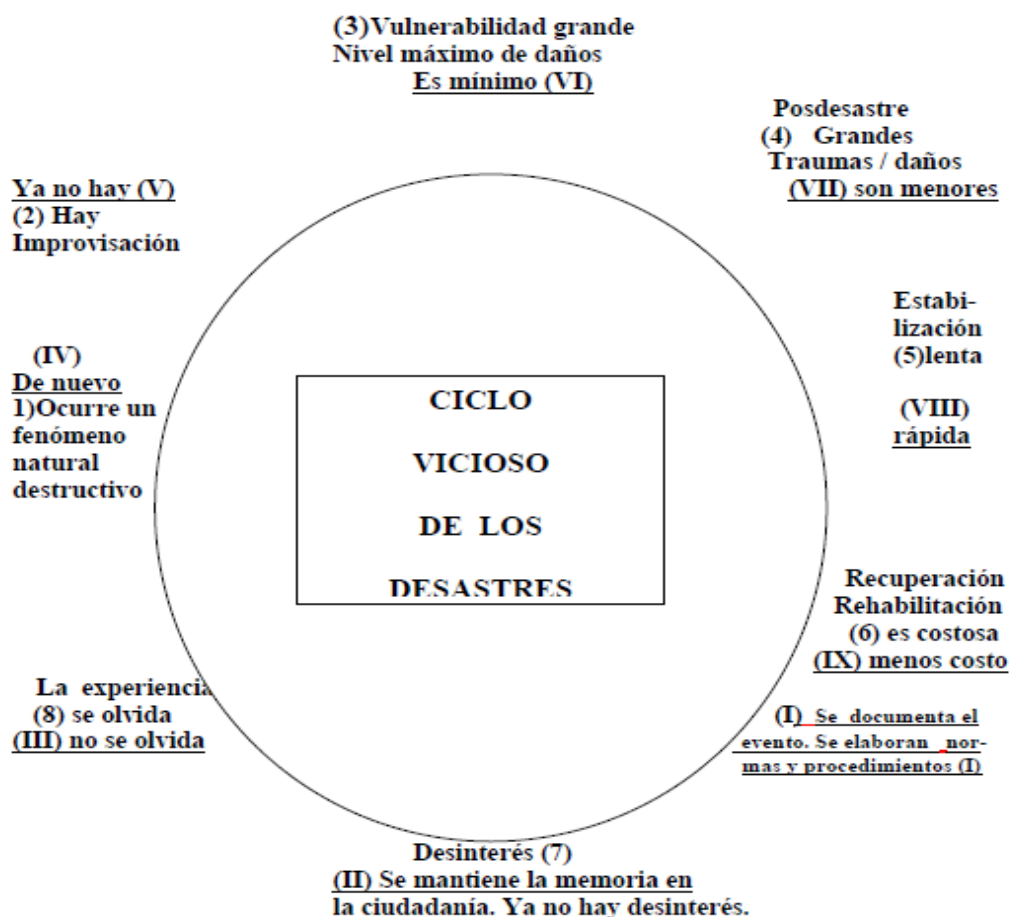


Figura 1-4 Ciclo Vicioso de los Desastres. Fuente: Figuera, (2008)

En la primera fase, ocurre un desastre natural. La consecuencia inmediata, cuando no existe preparación, es que exista improvisación para poder solucionar los inconvenientes que se presenten, aun cuando no se tomen las mejores acciones. Debido a este alto grado de improvisación, que usualmente está acompañado de apuros y nerviosismo, aumenta el grado de vulnerabilidad. La situación después del desastre se vuelve caótica, desembocando en mayores desastres y traumas para las personas. Después de esto viene la etapa de estabilización, en donde la situación vuelve a su estado natural. Con el pasar del tiempo existe una progresiva pérdida de interés y las personas pierden ese estado de alerta generado por la catástrofe. Finalmente esto culmina con el olvido de la experiencia, a pesar de que esta fue traumática. No existe una memoria histórica de lo ocurrido. Cuando ocurre un nuevo desastre empieza de

nuevo el ciclo debido a que las personas no aprendieron nada acerca de lo ocurrido (Figueira, 2007).

La razón por la cual existen los planes de emergencia es para romper este círculo vicioso, de ahí proviene su importancia. Para poder crear una planificación focalizada hacia la reducción de la vulnerabilidad, se obtienen datos después de la estabilización de la situación cuando se documenta y valora lo ocurrido. Con la creación y mantenimiento de estos planes, la experiencia adquirida no se olvida y se lleva a cabo la mitigación del desastre. Cuando vuelva a ocurrir el desastre, la planificación evita que se improvise de manera desordenada lo que a la final **reduce los niveles de daño que pueda causar en nuevo acontecimiento** (Figueira, 2007) (Duran, Gutierrez, & Keskinocak, 2012). Después de la estabilización toda esta información vuelve a ser reprocesada, tomando en cuenta las nuevas lecciones aprendidas de la última situación desastrosa. Así continua el ciclo.



Figura 1-5 Quebrando el Círculo Vicioso. Fuente: Figueira, (2007)

1.4. Problema del estudio

El problema de la logística y gestión de suministros humanitarios, en caso de emergencia, no solamente se centra en la adquisición y distribución de bienes y equipos

de emergencia, sino que también contempla la atención al manejo de suministros que ya están presentes al momento del desastre o que se encuentran en camino. Otro tema que es de especial atención son las donaciones no solicitadas, que a menudo, saturan el uso de los canales de distribución e instalaciones de almacenaje lo que ralentiza las acciones de ayuda (Organización Panamericana de la Salud, 2001). La selección de rutas y asignación de carga es una operación logística por si misma que depende de varios factores como son por ejemplo: el transporte con el que se cuenta, la naturaleza de la carga que se debe entregar, la urgencia de la misma, el itinerario de las entregas. Otro concepto importante es el aspecto de la seguridad, como premisa se debe escoger la ruta más segura, aun cuando esta no sea la más óptima, también es importante identificar previamente los puntos de asistencia a lo largo de la ruta.

Para poder seleccionar la mejor ruta existen condiciones acerca de los puntos de abastecimiento de combustible así como comida, servicio mecánico. Otro de los factores que es importante considerar es la condición en la que se encuentran los caminos después de que ya ha ocurrido el desastre. Adicionalmente esta uno de los factores más importantes como es el tema del costo de realizar y mantener todas estas operaciones. Como ya se nombró la logística humanitaria es un área emergente con una alta demanda de herramientas para apoyar la toma de decisiones bajo condiciones adversas. El diseño de modelos para distribución de ayuda humanitaria considera distintos factores que no han sido tomados en cuenta hasta recientemente. Los modelos cuantitativos en esta área demuestran que desarrollar modelos para computar los atributos más relevantes lidiando con varios criterios a la vez, es un problema que merece la atención prioritaria.

Este estudio se desarrolla desde la perspectiva del manejo de las operaciones de transporte, distribución y evacuación, que se llevan a cabo en la zona Sierra del país,

específicamente el sector del Valle de los Chillos. Debido al limitado número de recursos, no solamente humanitarios sino también económicos de las instituciones de socorro, tanto públicas como privadas, se tiene que rediseñar las operaciones de transporte y distribución de ayuda humanitaria, caso contrario, estas se verán afectadas y en un largo plazo, siendo no sostenibles. De hecho, dentro del campo de acción de la logística humanitaria, uno de los principales desafíos, es justamente saber manejar todos los limitantes de una manera eficiente. Por ello, encontrar una manera de hacer llegar la ayuda en el menor tiempo posible, pero a su vez, tomando en consideración el aspecto económico, es un reto que se debe afrontar.

De manera que, se contemplará, aspectos tales como las rutas maestras de distribución; capacidades de carga de los camiones, vías; frecuencias de distribución; tiempos de entrega; horarios; costos de envío de fletes, entre otros factores que son determinantes para realizar un modelo de optimización para el problema latente en las operaciones de distribución y transporte en el Ecuador (PMA,2006). Es decir, un modelo que permita satisfacer todos los requerimientos establecidos por los destinos, capacidades y volúmenes de carga, minimizado los costos de transporte con el plan determinado por las rutas escogidas.

1.5. Objetivo general

Proponer de optimización de las operaciones de evacuación, distribución y posicionamiento de ayuda humanitaria a través del sistema de red vial, mediante el análisis y utilización de modelos de optimización multi-criterio, para atender a desastres y casos de emergencia debido a la posible erupción de volcán Cotopaxi en el cantón Rumiñahui.

1.6. Objetivos específicos

1. Analizar y comprender la Cadena de Suministro humanitaria en el Ecuador.

2. Caracterizar a la problemática de distribución de ayuda humanitaria en situaciones de emergencia.
3. Categorizar los factores que afectan el envío de ayuda humanitaria.
4. Identificar los principales recursos utilizados en el envío de ayuda y asistencia humanitaria.
5. Resolver un modelo de programación lineal multi criterio, que sirva como guía para la evacuación y las operaciones logísticas de ayuda.

1.7. Alcance

1.7.1. Factores incluidos

- Estudio de la población y características demográficas de las personas que podrían ser afectadas en caso de desastre.
- Número de personas afectadas, y el tipo de insumos necesarios en caso de los distintos tipos de desastre, junto con las distintas etapas.
- Explicación detallada de los posibles desastres naturales con el mayor impacto para la zona delimitada, junto con la descripción geográfica y situacional de los distintos escenarios que se pueden presentar.
- Problemática y características específicas de la logística actuando en momentos de emergencia.
- Legislación tanto nacional como internacional que rige las operaciones de ayuda humanitaria en el Ecuador y América Latina.
- Análisis de la red vial de la zona escogida.

1.7.2. Factores excluidos

- Este estudio solo toma en cuenta el área de influencia y red de distribución logística delimitada dentro del Valle de los Chillos. No se toman en cuenta otros lugares que pudieran haber sido afectados por las emergencias descritas.

- Las operaciones de logística humanitaria comprenden un gran abanico de acciones como son la evaluación de la magnitud del desastre, el abastecimiento junto con sus distintas formas de adquisición de los bienes, el envío de los suministros, la recepción, registro, control y monitoreo. No se profundizara en ninguno de estos aspectos, solamente en el tema de la distribución de los suministros ya adquiridos.
- Vulnerabilidad de las vías específicas.

CAPÍTULO 2.- MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN LITERARIA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Logística

Es la parte de la gestión de la cadena de suministro, que planifica, implementa y controla el flujo eficiente y efectivo de materiales y el almacenamiento de productos, así como la información asociada desde el punto de origen hasta el de consumo, con el objeto de satisfacer las necesidades de los clientes. La logística es la ciencia encargada de gestionar todos los movimientos y el almacenamiento para facilitar el flujo de productos y de información de un punto de origen a un punto de consumo (Lambert & Cooper, 1998).

2.1.2. Logística humanitaria

La logística humanitaria actualmente todavía tiene que sobreponerse a distintas circunstancias (Knott, 1987). Usualmente las operaciones se deben llevar a cabo en ambientes desestabilizados, en donde la infraestructura ha sido gravemente afectada (Kovács & Spens, 2007), esto puede significar la falta de suministro de energía eléctrica o una infraestructura de transporte limitada. Todo depende de la situación. Por este motivo existen algunas características inherentes únicamente a la logística de emergencias, como responder y atender en momentos de desastres y angustia para evitar pérdidas humanas, que la diferencian de la logística comercial, este no implica que algunos de los conceptos puedan ser adaptados para su uso.

2.1.3. Logística de saneamiento de emergencias

La logística humanitaria es una amplia área de acción, bajo la cual se encuentran un vasto conjunto de operaciones de toda índole. Se cubren tanto temas de atención a desastres de forma inmediata, como también soporte continuo para regiones en vías de desarrollo (Kovács & Spens, 2007). Además, los desastres de tipo natural como

generados por el hombre aumentarían considerablemente durante los próximos 50 años por lo que se espera un gran crecimiento en este apartado, no solo para el sector público, sino también el privado (Long, 1995).

En el año 1991 las operaciones de ayuda, en lo referente a saneamiento de necesidades alimentarias durante emergencias, representó \$5 billones en raciones de comida, lo que tiene importantes implicaciones para las industrias de alimentos y transporte de todo el mundo (Long, 1995).

2.1.4. Suministros humanitarios

Los suministros humanitarios o de emergencia son aquellos productos, materiales y equipos utilizados por las organizaciones para atender a la población en casos de desastres o situaciones de emergencia. Estos suministros se dividen en una amplia gama, que incluye desde los productos y materiales para uso y consumo de la población, tales como los medicamentos, productos alimentarios, enseres domésticos, vestimentas, etc; hasta aquellos requeridos por las organizaciones para brindar la asistencia, como equipos de rescate, materiales de construcción, herramientas, etc. (Pérez, 2002).

2.1.5. Investigación de operaciones

Como su nombre lo indica, esta disciplina busca investigar sobre las operaciones y la práctica administrativa para las organizaciones. Ésta busca acentuar una problemática relacionada con la conducción y la coordinación de las actividades, a fin de, en lugar de conformarse con mejorar el estado de las cosas, buscar el mejor curso de acción y la optimalidad en las soluciones posibles (Hiller & Lieberman, 2006).

A fin de poder analizar las diferentes operaciones, la investigación de operaciones (IO) parte de la observación de un problema de estudio, el cual puede

representarse mediante un modelo científico utilizando relaciones matemáticas “que intentan proporcionar la esencia del problema real” (Hiller & Lieberman, 2006).

La metodología seguida por la (IO), incluye al menos tres etapas importantes: (1) definición del problema de interés y recolección de datos relevantes, (2) formulación de un modelo matemático en representación del problema y (3) validación y mejoramiento del modelo de acuerdo a las necesidades. Cabe mencionar que muchas veces los modelos en la (IO), “suelen ser los suficientemente complejos para desarrollar un procedimiento basado en computadora para derivar una solución para el problema” (Hiller & Lieberman, 2006).

La gran mayoría de los modelos aplicados en investigación de operaciones buscan expresar una decisión a través de una combinación de un conjunto de variables conocidas como variables de decisión. La medida de desempeño de la combinación de variables está dada por una función matemática conocida como función objetivo, la cual se encuentra sujeta a un conjunto de variables y restricciones (Hiller & Lieberman, 2006).

2.1.6. Clasificación de los modelos de optimización en investigación de operaciones

Los modelos de investigación se pueden categorizar en dos ramas importantes: modelos de programación lineal entera y modelos de programación no lineal. Muchos problemas de decisión implican un gran número de factores o variables importantes o pueden tener muchas opciones a considerar por lo que se hace necesario la utilización de computadoras para su solución dependiendo el tipo de modelo (Hiller & Lieberman, 2006).

Los modelos de programación lineal y programación entera son técnicas utilizadas para resolver problemas grandes y complejos de optimización. Estos modelos están sujetos a una serie de restricciones y variables las cuales tienen que satisfacer una

solución óptima dada por una función objetivo de maximización o minimización. En los modelos de Programación Entera (PE), se requiere que todas las variables sean números enteros, de ahí el nombre programación entera. De este tipo de modelo se derivan algunos que parten de este supuesto como, por ejemplo, los modelos de Programación Lineal Entera Pura, Programación Lineal Combinada y Programación Entera Binaria (Hiller & Lieberman, 2006).

Además, existen otros modelos de optimización, en el que la función objetivo es minimizar o maximizar, sin embargo, esta función no está sujeta a restricciones lineales. A este tipo de problema de optimización se le llama Problema de Programación no Lineal. La aplicación de la programación no lineal de igual manera que la lineal es muy aplicable y toma un papel importante en la toma de decisiones estratégicas y multi-criterio (Hiller & Lieberman, 2006).

2.1.7. Modelos de programación multi-criterio

Una gran mayoría de los problemas que se plantean en las empresas se reducen, en última instancia, a la obtención de unos determinados objetivos. Estos objetivos vienen determinados por medio de relaciones o funciones que ligan distintas variables; si el objetivo es único el problema se resuelve con cierta facilidad, pero el problema se complica cuando la función objetivo no es única y se busca atacar más de un objetivo a la vez (Fernández & Soto, 2002). A los modelos matemáticos que presentan más de una función objetivo como interés, se les denomina modelos de optimización multi-criterio (Fernández & Soto, 2002). Los modelos de optimización multi-criterio, son utilizados para modelar situaciones en la que la realidad del problema se ve afectada por más de un objetivo de interés (Tomasini y Van Wassenhove, 2009). La “teoría de evaluación multi-criterio” comprende en realidad un conjunto de teorías, modelos y herramientas de apoyo a la toma de decisiones, aplicable a una amplia gama de problemas tales

como: análisis de posicionamiento de marcas en el mercado, medición de percepciones de clientes, modelos de transporte y distribución, selección de redes logísticas y selección de tecnologías

2.1.8. Red logística

Una red logística es la configuración y la integración de un conjunto de instalaciones, formadas por almacenes, fabricas, bodegas y centros de distribución conectados a través de servicios de transporte (Ghiani, Laporte, & Musmanno, 2004).

Las redes logísticas son la estructura física de un sistema logístico. Los sistemas logísticos están determinados por tres actividades principales: procesamiento de órdenes, manejo de inventario y transporte (Ghiani, Laporte, & Musmanno, 2004).

La función principal de las redes logísticas consiste en integrar una cadena de transporte de manera que se incluya múltiples operaciones como: la carga y descarga de materiales, localizaciones de centros de distribución, almacenamiento, gestión de inventarios y transporte (Chopra & Meindl, 2007).

2.1.9. Planificación de la distribución

La distribución hace referencia a todos los procesos y actividades que interactúan entre sí con el fin de trasladar de un lugar a otro un producto de un proveedor a un cliente en alguna de las etapas de la cadena de suministro. La correcta planificación de la distribución es un eje estratégico dentro de la cadena de suministro dado que puede apoyar y ayudar a conseguir que se cumplan los objetivos planteados o, simplemente, mejorar la eficiencia de la cadena de suministro en términos de capacidad o efectividad de respuesta. Esta planificación toma en cuenta varios aspectos fundamentales como: las rutas de distribución, los nodos de embarque y desembarque,

tipo de transporte a utilizarse, capacidades de carga, costos de transporte, entre otros. (Chopra & Meindl, 2007).

2.1.10. Modelos de transporte

Los modelos de transporte hacen referencia al modo de determinar la manera óptima de transportar bienes. En particular, el problema general de transporte se refiere a la distribución de cualquier mercancía desde cualquier grupo de centros de suministro, llamados orígenes, a cualquier grupo de centros de recepción, llamados destinos, de tal manera que se minimicen los costos totales de distribución (Hillier & Lieberman, 2006).

El problema de trasportación se puede formular mediante una representación gráfica en red donde no es necesario un modelo matemático formal. Sin embargo, el modelo de transporte también puede ser representado mediante un modelo matemático para hacer notar que este modelo es un tipo especial de un problema de programación lineal. A continuación se presenta el modelo de transporte.

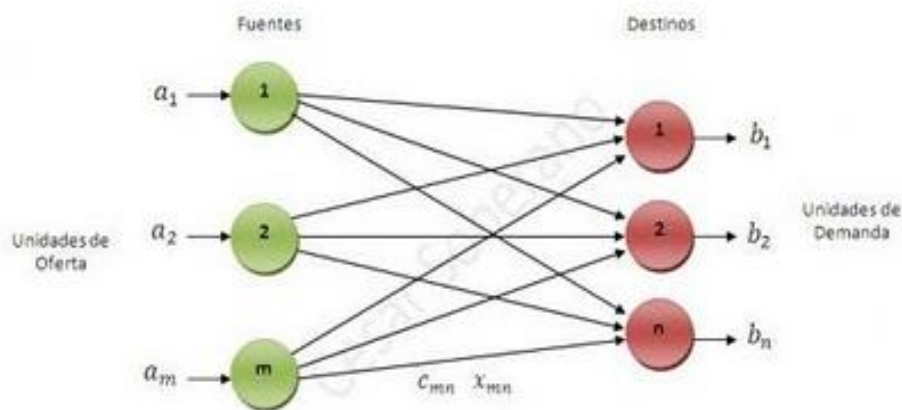


Figura 4-1 Representación del Modelo de Transporte. Fuente Hillier & Lieberman, (2008)

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = s_i \quad \text{Para } i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = d_j \quad \text{Para } j = 1, 2, \dots, n$$

Y

$x_{ij} \geq 0$, para toda i y j .

c_{ij} = El costo de transporte de enviar mercancías de un origen i a un destino j

x_{ij} = El número de unidades que se distribuyen del origen i al destino j

s_i = Cantidades de abastecimiento o recursos

d_j = Demanda

2.1.11. Métodos utilizados en la representación de un escenario en la logística humanitaria

Existen diferentes métodos a utilizar para hacer frente a los problemas de desastres. Los métodos de estructuración encajan bien en situaciones que involucran múltiples actores, múltiples perspectivas, intereses opuestos y tangibles importantes (Mingers y Rosenhead, 2004). Para situaciones en las que el conocimiento es incompleto, y las incertidumbres no parecen ser fácilmente resueltas, Bankes (1993) sugiere el uso de modelos de simulación para captar algunos aspectos de los fenómenos naturales que se presentan, por ejemplo, meteorológicas o principios geológicos, los detalles técnicos a través de la ingeniería y los modelos de comportamiento social. Por otro lado Gass (1994) menciona que los problemas en este ámbito son multi-objetivo, y las soluciones son buenas o malas, pero no óptimas. Entonces, se puede considerar la opción de desarrollar modelos que satisfagan la totalidad o la mayor parte de las restricciones del sistema, sin tratar de optimizar la función objetivo. Por ejemplo, Papamichail y French

(1999) se basan en el uso de las restricciones para la programación y desarrollan estrategias viables de evacuación para las emergencias nucleares.

2.1.12. Proyecto esfera

El proyecto esfera es una iniciativa creada por un grupo de ONG dedicadas a la asistencia humanitaria y el movimiento de la Cruz Roja. El proyecto fue lanzado en 1997 para desarrollar un conjunto de normas mínimas universales como meta a alcanzar en la asistencia en casos de desastre, en cada uno de cinco sectores (abastecimiento de agua y saneamiento, nutrición, ayuda alimentaria, refugios y servicios de salud). (El Proyecto Esfera, 2004) Este proyecto en conjunto con la carta de ayuda humanitaria en casos de desastre contribuye un marco de referencia operativo que tiene como objetivo principal mejorar la calidad de la asistencia humanitaria y facilitar la rendición de cuentas a la hora de realizar esfuerzos de asistencia en casos de desastre.

2.1.13. Etapas en las operaciones en la gestión de desastres

Tufekci y Wallace (1998) sugieren que las operaciones de gestión a desastres deben constar de dos etapas: La primera la etapa previa al episodio y la segunda etapa post-evento de respuesta. Las actividades que se realizan en las actividades previas a la materialización de un episodio catastrófico corresponden a la predicción y preparación, el análisis de peligros potenciales y desarrollarlo de planes de acción necesarios para una correcta mitigación. Mientras que en la etapa post desastre, las actividades se convierten muchas veces en diferentes desafíos como por ejemplo: determinar localizaciones seguras, planificar la asignación de recursos y coordinación y gestionar con diferentes organizaciones las donaciones y los recursos disponibles.

Por otro lado Green (2002), Waugh (2000) Godschalk (1991) y Waugh y Hy (1990) describen en términos de cuatro fases las operaciones en la gestión de desastres: la mitigación, la preparación, la respuesta y la recuperación. La mitigación, describe la adopción de todas las medidas necesarias para reducir el riesgo de la comunidad antes de que ocurra un desastre. Parte de las medidas de mitigación están la educación, capacitación sobre las normativas de seguridad y simulacros. Las actividades de preparación, según el *Global Development Reserch Center de la Urban Environmental Management*, describen las actividades de preparación como un conjunto de pasos que mejoran las capacidades de las personas para responder ante un desastre.

La fase de respuesta se produce durante y después que el desastre ocurre. Su propósito es proporcionar ayuda de emergencia a la comunidad con el fin de mantener la salud y seguridad de las personas hasta que las soluciones permanentes se puedan posicionar los lugares afectados. Finalmente la fase de recuperación se inicia después de que el desastre se haya materializado y golpeado. El principal es de restaurar a la comunidad a su estado normal. Esto implica muchas veces tomar acciones en el largo plazo después de que el impacto inmediato de la catástrofe ha pasado para estabilizar a la comunidad y para restablecer una apariencia de normalidad (Public Safety Canada , 2011).

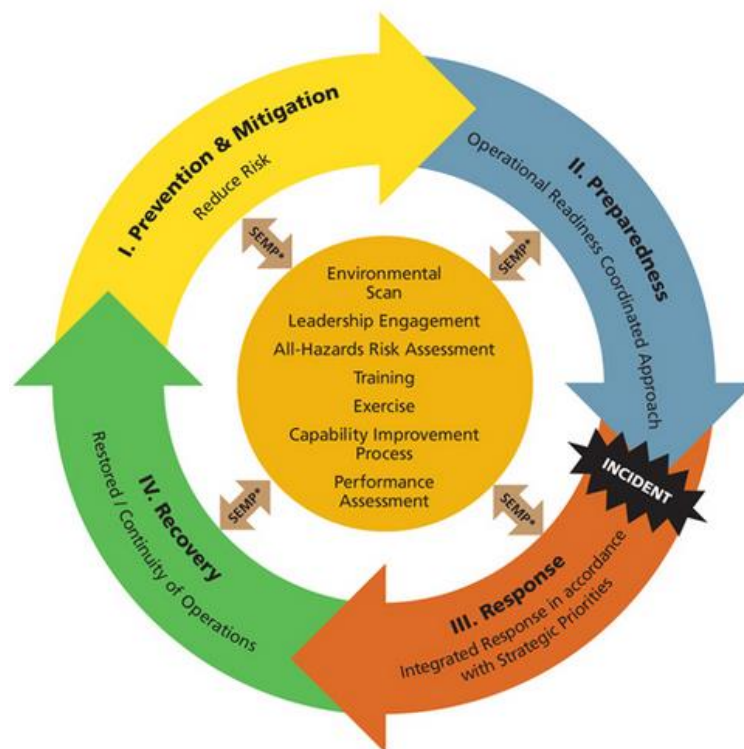


Figura 0-2 Manejo continuo en Emergencias. Fuente: Emergency Management Planning, (2011)

2.1.14. AIMMS software de modelamiento

“AIMMS (Advanced Interactive Multidimensional Modeling System), por sus siglas en inglés es uno de los sistemas de desarrollo más avanzado del mundo para aplicaciones de decisiones basadas en optimización” (AIMMS , 2014). Este sistema es una herramienta diseñada para poder modelar y resolver a gran escala todo tipo de problemas de optimización y programación matemática.

Gracias al completo alcance de este sistema existe no solo un sin un sin número de profesionales en el campo de la investigación de operaciones, sino que también existen una gran variedad de compañías de diferentes sectores que utilizan las aplicaciones desarrolladas en AIMMS para optimizar sus negocios. Entre los ejemplos comerciales que destacan por la implementación del sistema se encuentran: ArcelorMittal, Areva, Barclays, Bayer, CLH, DHL, Heineken, Merck, Petrobras, Philips, Repsol YPF y Shell. (AIMMS , 2014)

Los componentes claves del sistema son:

- Lenguaje de modelado con estructuras de datos indexados que se combina con conceptos de modelado y de resolución avanzados, como la generación de columnas y la programación estocástica.
- Un interfaz gráfico (GUI, “Graphical User Interface”) que permite crear páginas con objetos interactivos como gráficos, redes, manejo de tablas y mapas con sistemas de información geográfica (GIS)
- Conexión a solvers para resolver una gran variedad de tipos de problemas matemáticos como (programación lineal, programación entera mixta, programación no lineal etc.), que permiten trabajar de una manera cómoda con solvers avanzados como XA, CONOPT, GUROBI, y CPLEX.

2.1.15. Frontera Pareto

Según Vázquez *et al.* (2012), la optimización con criterios múltiples extiende la teoría de la optimización permitiendo que múltiples objetivos sean optimados simultáneamente”. De la misma forma, Saborido *et al.* (2013) enfatizan que muchos problemas de la vida real consisten en optimizar conjuntamente varios criterios, que normalmente se encuentran en conflicto, lo que da paso a los problemas de optimización multi-objetivo. Vázquez *et al.* (2012), mencionan que en los problemas de optimización multi-objetivo, cuando las funciones objetivo están en conflicto se busca una única solución sino que existe un conjunto de soluciones eficientes denominadas frontera Pareto.

La optimización multi-criterio es conocida por diversos nombres tales como optimización pareto, optimización vectorial, optimización eficiente y otros más (Sardi, 2014). Las soluciones suministradas son denominadas óptima Pareto, vector máximo, puntos eficientes y soluciones no dominadas, las mismas que no son soluciones únicas si

no un conjunto de soluciones que buscan optimizar un criterio de optimización sin hacer que se empeore el otro criterio. (Osorio & Lasso, 2012)

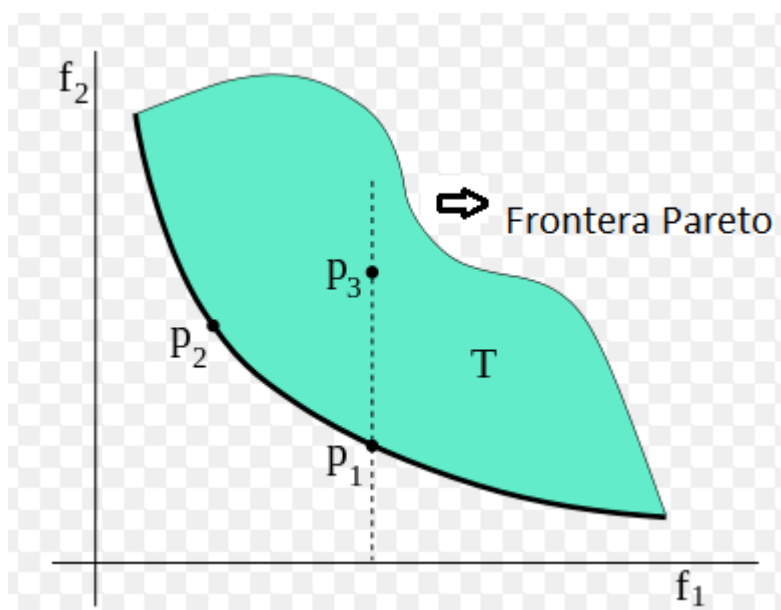


Figura 0-3 Frontera Pareto. Fuente: Osorio & Lasso, (2012)

2.1.16. Métodos para resolver problemas de optimización multi-objetivo

Las curvas de Pareto no pueden ser calculadas de una manera eficiente en muchos casos. Aun cuando sea teóricamente posible encontrar todos los puntos de manera exacta, muchas veces sus valores son de tamaños exponenciales, es por esto razón que usualmente se utilizan métodos de aproximación (Caramia & Dell'Olmo, 2008). Esto no quiere decir que estas soluciones no sean útiles para los encargados de las toma de decisiones. En muchos casos una solución bien aproximada, que se haya realizado en un tiempo menor, es mucho más útil que una solución exacta de una gran complejidad de cálculo. A continuación se detallan las técnicas de solución que fueron utilizadas dentro de este estudio. Estos métodos son únicamente viables si se trata de problemas multi-objetivo continuos.

La técnica de la escalarización

Un problema multi-objetivo usualmente se resuelve al combinar múltiples objetivos dentro de una sola función objetivo escalar. Este método usualmente se conoce como la suma de pesos o el método de la escalarización. En más detalle, la suma de pesos minimiza una suma convexa de objetivos escalarizados. Esto se representa de la siguiente forma:

$$\min: \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot f_i(x)$$

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i = 1$$

$$\gamma_i > 0, i = 1, \dots, n$$

$$x \in S,$$

Puede probarse que la minimización de esta función objetivo única, es una solución eficiente para el problema multi-objetivo original. En especial, podemos decir que si es que el vector de pesos γ es estrictamente mayor a cero, entonces la minimización va a ser una solución óptima del conjunto Pareto (Caramia & Dell'Olmo, 2008).

Existe una relación directa entre el vector de pesos y el vector de soluciones, queda a responsabilidad de la persona que realiza los cálculos escoger los pesos apropiados, sabiendo que los coeficientes de los pesos no necesariamente corresponden con la importancia relativa de las funciones objetivo. Además de esto, uno de los problemas con esta técnica es que no existe una manera consistente de cambiar los pesos para que se cambie la solución. Esto también implica que no es sencillo implementar una heurística con este método. Debido a que cada combinación de pesos representa solo un punto de las soluciones Pareto, se deben escoger de tal forma que

representen una porción significativa de la curva. Esto implica una restricción computacional debido a que se deben cambiar los pesos después de que se ha realizado cada solución.

La técnica de la restricción ε

Además de la técnica de la escalarización, otra manera de encontrar las soluciones a un problema de optimización multi-objetivo es el método de la restricción ε propuesto por Chankong y Haimes (1983) (Caramia & Dell'Olmo, 2008). Mediante este método se debe escoger uno de los objetivos de los n que se están minimizando. Los demás objetivos se transforman en restricciones que deben ser menores o iguales que un valor meta, previamente especificado. En términos matemáticos sea $f_2(x)$ la función objetivo que se ha escogido para minimizar, tenemos el siguiente problema $P(\varepsilon_2)$:

$$\begin{aligned} \min: & f_2(x) \\ & f_i(x) \leq \varepsilon_i, \forall i \in \{1, \dots, n\} \setminus \{2\} \\ & x \in S. \end{aligned}$$

Si es que todo el conjunto S y los objetivos son convexos, esta condición se vuelve la única y necesaria para que las soluciones formen parte del conjunto óptimo Pareto débil. Una de las ventajas de este método es que es capaz de conseguir puntos eficientes en una curva Pareto no convexa. Por ejemplo asumiendo que se tiene dos funciones objetivo en donde $f_1(x)$ se escoge para ser minimizada, el problema resultaría en lo siguiente:

$$\begin{aligned} \min: & f_1(x) \\ & f_2(x) \leq \varepsilon_2 \\ & x \in S, \end{aligned}$$

Se puede dar que se encuentre en la siguiente situación que se muestra en la figura 2-4 en donde $f_2(x) = \varepsilon_2$, $f_1(x)$ es un punto eficiente de una curva Pareto no convexa

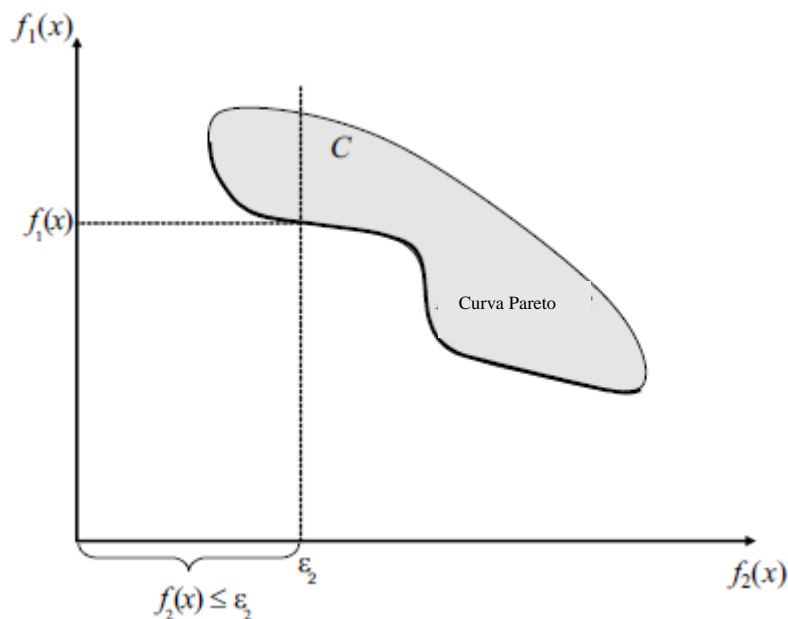


Figura 2-4 Representación gráfica de la restricción ϵ en el caso de una curva Pareto no convexa. Fuente: Caramia, 2008

2.2. REVISIÓN LITERARIA

El presente capítulo tiene como intención explorar la literatura existente sobre logística humanitaria. Se desea comprender sus principales características y desafíos, así como los mayores referentes académicos existentes en la materia. En primer lugar se presentará la definición de términos importantes, utilizados en la mayoría de estudios académicos. Posteriormente, se realizará una definición general acerca del concepto de logística humanitaria y su funcionamiento. En tercer lugar, se realizará una comparación entre la logística humanitaria y comercial.

Adicionalmente, el enfoque de este trabajo estará centrado específicamente en los desastres naturales, por lo que las investigaciones en esta área serán analizadas con mayor profundidad tomando en cuenta temas específicos como los inventarios y la distribución. Se busca explorar de manera extensiva el campo de la Investigación de Operaciones, específicamente, los trabajos que utilicen múltiples funciones objetivo para resolver los problemas planteados que estén relacionados con la ayuda humanitaria.

Los estudios en este campo se centran principalmente en problemas estratégicos y operativos relacionados con la planeación. Entre los temas más comunes que se incluyen para los estudios de este tipo se encuentran: planeación de ubicación de instalaciones (por ejemplo bodegas o centros médicos), rutas para los vehículos, planeación de entregas y manejo de inventarios (Rottkemper, Fischer, Blecken, & Danne, 2011). Para lograr resolver el problema respectivo, por ejemplo, de cobertura máxima de una zona afectada, de flujo de la red de transporte o de la ruta más corta se adaptan modelos clásicos de logística, como son el del agente viajero, para las distintas situaciones particulares que se presenta. Una amplia gama de métodos de optimización, ya sean exactos o heurísticos, han sido desarrollados con este propósito (Goncalves, 2009).

2.2.1. Metodología de la revisión literaria

Emerald Group Publishing creó una nueva publicación periódica que solo se dedica al tema de la logística humanitaria. Esta publicación fue co-editada por varios autores influyentes en la materia como son Dr. Kovacs o Dra. Karen Spens (Gaytán, Arroyo, & Enríquez, 2011). Los temas sugeridos para esta nueva publicación se tomaron como palabras clave para la búsqueda en las bases de datos más conocidas.

Se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos ProQuest, EBSCO y Science Direct. También se utilizaron fuentes alternas de consulta como son libros y otras fuentes electrónicas (Kovács & Spens, 2011). Después de la realización de esta indagación se comprobó que la mayor parte de artículos e investigaciones acerca de la logística humanitaria provienen de la última década a raíz del Tsunami ocasionado en Asia como lo nombra Van Wassenhove (2006).

Las palabras clave que se utilizaron para la búsqueda incluyeron, pero no se limitaron, a las siguientes palabras o combinaciones de palabras como son crisis,

emergencia, desastre, ayuda, humanitaria junto con logística, cadena de suministro y operaciones (Velásquez Restrepo, Rodríguez Quintero, & Jaén Posada, 2011). Se prestó especial atención a la búsqueda en publicaciones especializadas en temas como el manejo de la cadena de suministro (SCM, por sus siglas en inglés), así como revistas enfocadas en el manejo de desastres.

2.2.2. Definiciones

Antes de profundizar la revisión literaria vale la pena realizar un glosario con las definiciones más importantes y que son recurrentes en la gran mayoría de investigaciones. Estos términos son importantes al momento de la formalización del tema de la logística humanitaria. Dentro de la revisión literaria no se identifica una terminología única para el tratamiento de las investigaciones o aportes relacionados con el tema, esto también como consecuencia del reciente interés en esta área (Silva, 2011). Los términos más importantes se presentan en la tabla 1 a continuación. Estos fueron tomados de la terminología parte de la Estrategia Internacional la reducción de desastres (2009).

Tabla 1 Tabla de definiciones y terminología en logística humanitaria. Fuente Estrategia Internacional de reducción de desastres, (2009).

Término	Definición
Amenaza natural	Un proceso o fenómeno natural que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales
Capacidad	La combinación de todas las fortalezas, los atributos y los recursos disponibles dentro de una comunidad, sociedad u organización que pueden utilizarse para la consecución de los objetivos acordados.
Desastre	Una seria interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad que ocasiona una gran cantidad de muertes al igual que pérdidas e impactos materiales, económicos y ambientales que exceden la capacidad de la comunidad o la sociedad afectada para hacer frente a la situación mediante el uso de sus propios recursos.
Evaluación de Riesgo	Una metodología para determinar la naturaleza y el grado de riesgo a través del análisis de posibles amenazas y la evaluación de las condiciones existentes de vulnerabilidad que conjuntamente podrían dañar potencialmente a la población, la propiedad, los servicios y los medios de sustento expuestos, al igual que el entorno del cual dependen.
Mitigación	La disminución o la limitación de los impactos adversos de las amenazas y los desastres afines.
Plan de Contingencias	Un proceso de gestión que analiza posibles eventos específicos o situaciones emergentes que podrían imponer una amenaza a la sociedad o al medio ambiente, y establece arreglos previos para permitir respuestas oportunas, eficaces y apropiadas ante tales eventos y situaciones.
Respuesta	El suministro de servicios de emergencia y de asistencia pública durante o inmediatamente después de la ocurrencia de un desastre, con el propósito de salvar vidas, reducir los impactos a la salud, velar por la seguridad pública y satisfacer las necesidades básicas de subsistencia de la población afectada.
Riesgo	La combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas.
Vulnerabilidad	Las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza.

2.2.3. Logística humanitaria; una visión general

La logística humanitaria se define como:

(...) El proceso de planear, implementar y controlar de forma eficiente el flujo o almacenamiento de bienes, materiales e información relacionadas entre el punto de origen y el punto de consumo, con la intención de aliviar el sufrimiento de las personas en situaciones vulnerables (Thomas & Kopczak, 2005).

Esta definición tan general engloba un gran conjunto de operaciones en distintos ámbitos de acción, tanto desde el campo legal hasta el operacional (Silva, 2011).

Los estudios que se analizarán en este ámbito se centran principalmente en problemas estratégicos y operativos relacionados con la planeación. Entre los temas más comunes que se incluyen para los estudios de este tipo se encuentran: la planeación de ubicación de instalaciones (por ejemplo bodegas o centros médicos), las rutas para los vehículos, planeación de entregas y el manejo de inventarios (Rottkemper, Fischer, Blecken, & Danne, 2011). Con el propósito de resolver los distintos problemas específicos que pueden presentarse, una amplia gama de métodos de optimización, ya sean exactos o heurísticos, ha sido desarrollada y distintos modelos han sido adaptados de manera que se acoplen a cada situación de mejor manera (Goncalves, 2009).

Adicionalmente, cabe mencionar que es complicado encontrar publicaciones referentes a la logística humanitaria que hayan sido creadas previamente la década de los noventa. Sin embargo, debido a la creciente importancia del tema, los estudios se han incrementado considerablemente en la última década (Van Wassenhove, 2006) (Kovács & Spens, 2011).

El ciclo de vida de la ayuda a desastres se puede separar en dos fases: la preparación para los desastres y la respuesta hacia los mismos (Kovács & Spens, 2011) (Van Wassenhove, 2006). La fase de preparación para los desastres incluye todas las actividades que se desarrollan antes de que el desastre acontezca. Todas estas medidas

no están enfocadas a la mitigación de un evento específico o una comunidad específica. La respuesta hacia los desastres incluye las actividades después de que el desastre haya ocurrido. Todas estas acciones se enfocan en ayudar directamente a la comunidad afectada. Dentro de esta fase existen dos etapas, una a corto plazo que se encarga de la respuesta inmediata y una a más largo plazo que tiene que ver con temas de rehabilitación y reconstrucción después del desastre (Balcik & Beamon, 2008).

2.2.4. Diferencias entre la logística humanitaria y la logística comercial

“La investigación de operaciones y la logística tradicionalmente han estado ligadas al manejo de organizaciones, mientras que la respuesta a emergencias requiere el manejo de la desorganización (Beamon B. , 2005)”. Existen características únicas que corresponden al ambiente de las operaciones de socorro. Hay un gran contraste entre las cadenas de ayuda humanitaria y las cadenas de suministro comerciales. Entre las diferencias fundamentales una de las más claras son los términos de las metas estratégicas, los clientes, las características de la demanda y los factores ambientales (Balcik & Beamon, 2008).

Dentro de las cadenas de suministro comerciales, el enfoque se basa principalmente en un modelo de negocio que fomenta a los diferentes actores a entregar un producto o servicio a un determinado costo, calidad y tiempo para obtener rédito económico (Beamon & Kotleba, 2006). En la atención a desastres, el beneficio económico se sustituye por el objetivo de la prestación oportuna y adecuada de la ayuda a las personas afectadas (Green & Kolesar, 2004). En conclusión las cadenas de suministro para atención de desastres no se enfocan en aprovechar a las economías locales, sino más bien reducir los niveles de vulnerabilidad a los que se ven expuestas las comunidades (Beamon & Kotleba, 2006).

Las características dominantes de una situación de desastre conllevan una complejidad adicional y retos únicos al diseño y manejo de cadenas de atención a desastres. Estas características son:

- Demanda impredecible, en términos de tiempo, ubicación, tipo y tamaño.
- Demanda de ocurrencia repentina que aparece en grandes cantidades y con tiempos de entrega bastante cortos, con una gran variedad de suministros necesarios para el envío.
- Falta de recursos (suministro, gente, tecnología, capacidad de transporte y dinero).
- Gran importancia (a menudo la vida o la muerte)
- Información acerca de la cadena de suministro y transporte incompleta, no existente o poco confiable
- Los lugares en donde ocurre el desastre usualmente son desconocidos hasta que las desgracias ocurren (Green & Kolesar, 2004).

2.2.5. Logística de socoro

La mayoría de estudios acerca de operaciones logísticas de socorro se enfocan en actividades logísticas operacionales dentro de la cadena de auxilio, con el objetivo de optimizar el flujo de suministros a través de redes de distribución ya existentes (Beamon & Kotleba, 2006). Dentro del mundo real y especialmente en el campo varios objetivos que causan conflicto entre si deben ser optimizados. No es posible tomar todos y cada uno de los criterios en una sola función objetivo (Drezner, Drezner, & Salhi, 2006).

Los modelos multi-objetivo pueden ser vistos desde varios puntos. Se pueden tomar todos los criterios en una sola suma, asignando pesos indistintamente a todos los objetivos (Gaytán, Arroyo, & Enríquez, 2011). También existe la posibilidad de realizar una frontera Pareto, permitiendo a las personas que toman las decisiones, ser capaces de

escoger de las diferentes opciones de acuerdo a su preferencia (Nolz, Doerner, & Hartl, 2010). La motivación para realizar este estudio es que los grupos pobres y socialmente desventajados dentro de países en vías de desarrollo, son particularmente impactados por desastres. Debido a que sus capacidades de recuperarse de una catástrofe son limitados, las operaciones de socorro son una pieza clave para limitar el daño y reducir la vulnerabilidad (Knott, 1987).

2.2.6. Ubicación de las instalaciones

Durante varios años, las técnicas de Investigación de Operaciones han sido aplicadas a una gran cantidad de problemas para poder determinar la ubicación geográfica optima de distintas instalaciones (Owen & Daskin, 1998). Dentro de la logística de atención a socorro existen modelos como el de Balcik (2008) que considera las decisiones que se deben tomar para ubicar instalaciones en caso de atención a desastres que se deben atender de manera inmediata. Se desarrolla un modelo que determina el número y las ubicaciones de los centro de distribución dentro de la cadena de socorro, junto con la cantidad de suministros de ayuda que se deben almacenar en cada centro de distribución. El modelo integra variables de ubicación junto con manejo de inventario, realizando una variante del modelo de cobertura máxima. El objetivo era determinar el itinerario de entrega tomando en cuenta la demanda, el tiempo, la cantidad de entre y las diferentes rutas, se muestra el desempeño del modelo con los efectos antes y después de que ocurra el desastre. Finalmente, se recomienda utilizar heurísticas para resolver este tipo de problemas por sus complicaciones computacionales. El objetivo del es modelo optimizar la demanda satisfecha y el costo total con el uso de programación entera (Balcik & Beamon, 2008).

En Latinoamérica también se pueden encontrar este tipo de estudios. Como es el modelo de ubicación de almacenes para ayuda humanitaria realizado por Aragón *et. al*

(2012). El desastre que se toma en cuenta son los posibles terremotos que pueden generar damnificados en la zona de Lima y Callo en Perú. El modelo cuenta con dos fases, la primera siendo un problema de programación lineal mientras que en la segunda fase se utiliza un heurístico para obtener el número de almacenes que debe haber en cada población afectada. Mediante la ubicación óptima de los almacenes se logra disminuir el tiempo de respuesta de ayuda a los damnificados, que usualmente es uno de los elementos críticos al momento de la atención de emergencias (Silva, 2011).

Otro modelo, en este caso para la evacuación de albergues, como parte de las operaciones de evacuación, se desarrolló en México, por Gaytán *et al.* (2012). Se realiza la apertura de albergues así como la ubicación de insumos pre-posicionados en cada una de estas instalaciones. También se toma en cuenta la asignación de personas afectadas cada uno de los albergues así como la ruta de escape más segura. Se modeló el caso, como un problema de programación lineal entera. El objetivo fue minimizar el tiempo final de evacuación (Gaytán, 2012). Dentro de esta investigación se utilizan modelos dentro de sistemas de modelado geográfico para poder definir las zonas afectadas por las inundaciones.

2.2.7. Rutas para los vehículos

En la literatura que se concentra en las operaciones referentes a rutas, varios modelos han sido propuestos, especialmente para vehículos terrestres. Vittoriano, *et al.* (2011), en su trabajo de un modelo multi-variable para la optimización de ayuda humanitaria toma como caso de estudio a Puerto Príncipe, Haití. Para la modelación se seleccionan distintos tipos de transporte, adicionalmente se realiza el diseño de rutas para los vehículos con una cantidad fija de pedido. Estos autores señalan que existe una falta de atención hacia el desarrollo de modelos matemáticos y soluciones algorítmicas que facilitarían las distintas medidas de desempeño. Se desarrolla un modelo de

programación por metas que toman en cuenta la reducción del costo, el tiempo de duración de las operaciones, la equidad de la distribución, entre otros factores (Vittoriano, Ortuño, Tirado, & Montero, 2011).

Uno de los puntos importantes que nombran varios autores dentro de sus investigaciones como son Nolz ,2006 y Van Wassenhove, es que la logística humanitaria, tanto como la logística comercial, tratan de preservar el flujo y conectividad de la red de suministros (Van Wassenhove, 2006). Por ejemplo existen modelos como el de Knott (1987) que buscan el número de viajes que se debe realizar para satisfacer la demanda y minimizar el costo mediante un modelo de programación lineal. También dentro de esta rama de la logística humanitaria existen estudios buscando diferentes metodologías como la aplicación de agente viajero y el problema de asignación de rutas, problemas clásicos de la logística, con dos funciones objetivo distintas como son minimizar el tiempo máximo de arribo (minimax) y minimizar el tiempo promedio de arribo.

No solo existen planes para coordinar las operaciones de rescate con vehículos terrestres. Barbarosogle *et al.* (2002) centralizaron su investigación en la parte operacional y táctica para asistir operaciones de desastres mediante un helicóptero. Las investigaciones en la planeación de misiones de helicópteros son bastante escasas, a pesar del hecho de que los helicópteros son utilizados una amplia gama de aplicaciones como son: emergencias médicas, visita a terrenos difíciles y operaciones de socorro (Ozdamar, 2011). Se descompone a la propuesta en dos fases para las operaciones de desastre asistidas. En la parte táctica se maneja el número de helicópteros, así como la tripulación, mediante un modelo multi-criterio interactivo, que se resuelve utilizando una heurística que evalúa las soluciones existentes y define la frontera eficiente.

Mientras que en la parte operativa se definen las rutas para evacuación y entrega de ayuda en las zonas afectadas, tomando en cuenta los itinerarios, trasbordos y capacidad.

Ozdamar (2011) igualmente se adentra en el tema de la planeación de las operaciones de rescate de los helicópteros. El sistema propuesto por la autora posee las mismas divisiones entre lo táctico y operativo, sin embargo incluye un modelo matemático y un sistema para manejo de rutas (RMP, Route Management Procedure) que procesa los resultados del modelo. El sistema mira las actividades de los helicópteros en la distribución de la última milla y la recolección de heridos para asistencia después del desastre.

Esta misma autora en el 2004 plantea un problema de ayuda humanitaria para distribuir múltiples insumos, desde un número determinado de centros de acopio, hasta centros de distribución ubicados cerca de las áreas afectadas. Para resolver este problema se plantea un modelo red con múltiples periodos e insumos para determinar los horarios de entrega y recolección de los vehículos así como las cantidades que se debe enviar. Se desarrolla un algoritmo iterativo Lagrangiano y se emplea una heurística para resolver el problema (Ozdamar, 2004).

Otro modelo que se destaca es el creado por Drezner *et al.* (2006), que tiene como objetivo la localización de puntos para la recogida de heridos. Se propone un modelo multi-objetivo para minimizar el porcentaje máximo de objetivos individuales que puedan desviar a la función total de su mejor valor objetivo. El modelo cuenta con cinco funciones objetivo. Se toman en cuenta factores como son la distancia de recorrido y la equidad al momento de la atención o la distribución de ayuda (Beamon & Kotleba, 2006). Se muestra como se realizaría el proyecto si es que sucede algún desastre en Orange County, California.

2.2.8. Planeación de entrega last mile

Para el caso de planeación de entregas se debe tomar en cuenta muchos otros factores ajenos a las actividades logísticas comunes (Nolz, Doerner, & Hartl, 2010). En el trabajo desarrollado por Nolz *et. al* (2010), cuyo propósito era utilizar un modelo de Investigación de Operaciones para realizar la planeación de los viajes de entrega de agua en una situación de desastre. Se enfoca en situaciones después de que el desastre ya haya ocurrido. Para resolver el problema se desarrolla una técnica meta-heurística de búsqueda basada en un algoritmo mimético especial. Se toman en cuenta las variables como son la distancia entre las poblaciones y los puntos a los que se debe entregar el agua, así como la equidad en el reparto, la cobertura y costo. El método propuesto sirve como soporte a los encargados de tomar las decisiones en momentos en los cuales hay objetivos conflictivos como son la cobertura y el tiempo de entrega.

Estos mismos autores, tanto Nolz como Doerner (2011), realizan un trabajo de logística humanitaria de especial interés, dado que realizan su aplicación en el Ecuador, dentro de la provincia de Manabí para ser más precisos. Dentro de la investigación se considera un problema de diseño del sistema logístico para asegurar la distribución de ayuda humanitaria en una situación después de un desastre natural. El modelo considera si es que se ha producido algún daño a la infraestructura que pueda causar algún problema al momento de entregar la ayuda.

El problema está formulado como un problema de optimización multi-objetivo, que cuenta con tres funciones objetivo, que son de gran interés para poder resolver el problema (Nolz, Semet, & Doerner, 2011). La primera función objetivo es una medida del riesgo, en sus diferentes formas. La segunda función objetivo mide el nivel de cobertura que brinda el sistema de distribución logística a las víctimas del desastre y por

último la tercera función objetivo representa el tiempo de viaje. El modelo se enfoca en reducir los riesgos de los viajes de entrega para los insumos, en donde el riesgo contempla la amenaza que algunos de los viajes no van a poder ser realizables después del desastre. Se generan cinco escenarios para poder lidiar con los distintos riesgos.

2.2.9. Manejo de inventarios

Beamon y Kotleba en el 2006 desarrollaron una estrategia de manejo de inventario para un almacén, que deba suplir las necesidades de la población, en caso de una emergencia que tenga una larga duración. El modelo de desarrollo basado en un caso de estudio que se realizó en un almacén ubicado en Kenia. Los autores crearon un modelo de inventarios con múltiples proveedores, que optimizaba las cantidades de re-orden y el nivel de re-orden basado en los costos de almacenaje y pedido. Finalmente dentro del estudio se desarrollan medidas de desempeño específicas para la circunstancia para poder identificar qué factores contribuyen de manera más significativa al éxito del modelo.

Otro modelo para manejo de inventarios, con el objetivo de movilizar los insumos y lograr una distribución eficiente, es el desarrollado por un grupo de Tecnológico de Georgia y la ONG CARE (2012). Este modelo evalúa el efecto de socorro, al dejar elementos pre-posicionados y como este influye en el tiempo de respuesta al momento de brindar ayuda a las personas afectadas por el desastre. El modelo tuvo como propósito brindar una herramienta de decisión para que los administradores de CARE lograran determinar las configuraciones deseadas para la red de ayuda pre-posicionada. Este se trata de un modelo que mezcla la localización y el inventario, al igual que muchos otros que no cubren un solo elemento en específico en sus objetivos de optimización (Beamon B. , 2005).

2.2.10. Pasos a seguir en la ayuda humanitaria

Todos los modelos y casos de aplicación antes mencionados no conforman la totalidad de las operaciones en caso de una emergencia (Organización Panamericana de la Salud, 2001). El abastecimiento, manejo y en general todas las actividades relacionadas con el aprovisionamiento para las personas afectadas por los desastres necesitan un mínimo marco de organización. Existen una gran variedad de manuales y guías realizadas por distintas organizaciones de ayuda humanitaria con el motivo de explicar cuáles son las medidas que se deben tomar antes, durante y después de un desastre. En general la mayoría toma a los siguientes pasos como los principales, no necesariamente en el orden expuesto:

1. Entorno: Se debe realizar un análisis sobre la generalidad de los desastres que pueden ocurrir en una zona y cuáles son sus principales efectos.
2. Se debe realizar una evaluación de necesidades logísticas y de suministros: La importancia de esta evaluación recae en que si es que estas se evalúan de manera inadecuada los pocos recursos con los que se cuenta pueden ser desperdiciados. Se evalúan las necesidades así como las capacidades locales. También se deben tomar en cuenta las medidas de restricción o de facilitación que existen ya sean por temas logísticos, sociales, políticos, religiosos, etc. Dentro de los aspectos sociales se debe tomar en cuenta de manera especial todos los aspectos ambientales y culturales de la población.
3. La coordinación: Se deben identificar las estructuras tanto nacionales como internacionales de coordinación. Todas las operaciones de ayuda deben realizarse dentro del marco legal adecuado. Se deben revisar los acuerdos y convenios de cooperación para determinar el rango de acción de las instituciones adjuntas a las operaciones del Gobierno. Los procesos de solicitud de ayuda

- humanitaria deben ser llevados a cabo de manera eficiente. Existen gran cantidad de formatos y formas de pedir esta ayuda que deben ser considerados.
4. Las características de los suministros: Los suministros de emergencia poseen características especiales y existen distintas categorías dependiendo del tipo de situación en la que se encuentre la población afectada. Hay que en la medida de lo posible tratar de estandarizar los suministros de emergencia para que todas las personas puedan recibir la misma atención. Debe haber un tratamiento especial para los materiales peligrosos así como el material especializado.
 5. El abastecimiento: Hay una gran variedad de fuentes y formas de adquisición de los suministros tanto de manera local como internacional. Se deben coordinar las requisiciones así como el envío de los suministros en sí. Existen varios procedimientos para envíos ya determinados por las diferentes instituciones de ayuda.
 6. Recepción de suministros: La llegada de los suministros ya sea por vía aérea, terrestre o marítima debe ser controlada con extremo cuidado. Las operaciones en las fronteras deben contar con procedimientos especiales para permitir que la ayuda llegue lo más rápido posible. Se debe considerar la recepción tanto de embarques locales como internacionales.
 7. Registro, control y monitoreo de los suministros: Debe existir un proceso para el ingreso y registro de los suministros. A la vez que debe haber un sistema de control, monitoreo y seguimiento de a donde se envían todos los paquetes. Otra de las actividades importantes es la eliminación de artículos no prioritarios y de otros suministros no deseados.
 8. El almacenamiento, transporte y distribución también deben ser llevados a cabo con consideraciones especiales, llevando especial registro de que se lleva en

cada carga y para qué población va destinada. Dentro de estas operaciones se debe hacer un hincapié especial en la gestión de los suministros médicos.

9. Transparencia e información en la gestión de los suministros: Toda donación y ayuda debe ser tratada con estricta transparencia. Se deben guardar datos e información acerca de todas las entregas y pedidos de ayuda en caso de que exista alguna duda tanto de su precedencia como de su utilización.
10. Telecomunicaciones: Se debe contar con una estrategia de comunicaciones en caso de desastres así como un sistema de telecomunicaciones de respaldo. Se debe priorizar la información más importante para que fluya a través de los limitados canales de información, después de una catástrofe.
11. Tecnologías aplicadas a la logística: todas las operaciones deben ser apoyadas por tecnologías aplicadas a la logística. La utilización de códigos de barras, sistemas RFID o softwares de manejo de inventarios no deben ser descartados.

Nota: todos estos procedimientos fueron tomados del manual de logística y gestión de suministros humanitarios en el sector de la salud de la Organización Panamericana de la Salud (2010).

Dentro de toda la revisión realizada por los autores no se encontró ningún trabajo que estime las zonas afectadas por los efectos de un lahar para poder realizar el modelo posteriormente. Un trabajo de este tipo es de gran importancia especialmente si es que se toma en consideración el tiempo de evacuación como una de las variables críticas para que las personas puedan quedar a salvo. En el Ecuador tampoco se han encontrado trabajos que consideren este tipo de operaciones a parte del realizado por Nolz en 2011. Una de las razones principales para que no hayan realizado más estudios de este tipo es la falta de profesionales especializados en el tema y la dificultad en la recolección de datos.

CAPÍTULO 3.- DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA A UTILIZAR

Metodología método científico

El presente estudio está fundamentado en el método científico, el cual proviene del griego *methodos* (“camino” o “vía”) y hace referencia al medio que se utiliza para llegar a una cierta meta. “Científico” hace referencia al conjunto de técnicas y procedimientos que se emplean para producir conocimiento y llegar a la ciencia. Por lo tanto, el método científico, se refiere a la serie de etapas que hay que recorrer para obtener un conocimiento válido desde el punto de vista científico, utilizando instrumentos que resulten fiables (Hiller & Lieberman, 2006).

Este método, según Hiller & Lieberman (2006), se identifica en base a las siguientes características: (1) se sustenta en leyes que han sido deducidas por el hombre, (2) utiliza modelos matemáticos para establecer las correspondientes relaciones entre distintas variables, (3) nunca toma referencia a las certezas absolutas, todo lo contrario, se desarrolla y funciona a partir de lo observable.

Entre los pasos que conforman el método científico se encuentran:

- **Observación.-** “El investigador debe extraer la realidad de un problema mediante la recolección de datos y revisión documental a fin de formular a una representación mediante un modelo matemático y estudiar el fenómeno de la misma manera en que éste se muestra en la realidad” (Hiller & Lieberman, 2006).
- **Inducción.-** Partiendo de las observaciones, el observador puede estudiar casos particulares para obtener una conclusión general. Aquí, se realiza un planteamiento de una hipótesis surgido de la propia observación.
- **Demostración o refutación de la misma.-** “El investigador deberá comprobar o refutar la tesis teórica científica. (Hiller & Lieberman, 2006).

- **Conclusiones y Recomendaciones.-**, Luego de la validación y la experimentación de las variables, se deberá generar un análisis d presentando que se puedo concluir de la investigación.

3.2. Justificación de la metodología

Varias metodologías se han sugerido para resolver problemas de logística de desastres, entre las que más se destacan en varios estudios y en la literatura se encuentran: el método científico apoyado en la programación matemática, sistemas de información Geográfica (SIG) y análisis de simulación. Para motivos de este estudio se empleará una combinación de metodologías, entre estas se destacan: el método científico apoyando en la programación matemática, sistemas de información Geográfica (SIG) y método Delphi para el levantamiento y recolección de información.

3.3. Método científico sustentado en la programación matemática

Como se mencionó anteriormente, el método científico se refiere a la serie de etapas que hay que recorrer para obtener un conocimiento valido desde un punto de vista científico, utilizando instrumentos que resulten fiables (Hiller & Lieberman, 2006). Uno de los instrumentos fiables que sustenta al método científico es la programación matemática, la cual se basa en la construcción y solución de modelos de optimización mediante una o varias funciones objetivo y diferentes restricciones (no necesariamente lineales), que sirven para describir la situación que se analiza (Hiller & Lieberman, 2006), la solución a estos modelos busca generar los mejores valores para las variables de decisión (Gaytán, Arroyo, & Enríquez, 2011).

En el presente estudio, las decisiones más importantes que se han tomado en cuenta para escoger un modelo de evacuación que mejor se ajuste a las necesidades locales que se pretende resolver, se debe basar en conjugar estratégica ubicación de los

albergues con fácil accesibilidad, total cobertura y mínimos tiempos de evacuación frente a una posible amenaza.

Por tanto, el modelo que más se acopla a este objetivo es el de Gaytán y Arroyo, investigadores del tecnológico de Monterrey quienes preocupados por resolver situaciones de desastres naturales presentes en México como las recurrentes inundaciones en la ciudad de Villahermosa, han planteado, mediante programación matemática, un modelo de optimización BI criterio para la ubicación de albergues.

Este modelo da como resultado un plan de evacuación por medio de la determinación de la ubicación de albergues y centros de distribución en caso de inundaciones en Villahermosa, capital del estado de Tabasco en donde se busca minimizar la máxima distancia que deberán recorrer los habitantes al momento de una emergencia con el fin de llegar a los albergues o puntos seguros determinados por los organismos de Defensa Civil o la Secretaría Nacional de Riesgos.

Para ello, Gaytán & Arroyo, 2012, en su estudio se apoyaron en el uso de sistemas de información geográfica los mismos que les permitieron modelar y simular tres escenarios de inundación para la ciudad en cuestión. Esta información y el modelamiento de los diferentes escenarios de inundación se utilizaron como entrada para el modelo de programación lineal entera con dos objetivos: minimizar el tiempo total requerido para evacuar a las personas y minimizar el costo total de abrir albergues y centros de distribución al seleccionar las rutas de optimas de comunicación para trasladar a la población y abastecer a los albergues.

Es por esto que cuando la población del Valle de los Chillos necesite evacuar inmediatamente los lugares que van a estar afectados por alguna emergencia del volcán Cotopaxi, es cuando este modelo entrara en efecto puesto que servirá no solo como plan

de evacuación, sino también como un modelo matemático que ayudará a actuar de manera ordenada, eficaz y precisa.

3.4. Sistemas de información geográfica (SIG)

Los sistemas de información geográfica SIG, consisten en la recopilación de información de las diferentes bases de datos para permitir la manipulación simultánea de los mapas, relacionarlos entre sí y construir nuevos mapas con información sobre las vías de comunicación, instalaciones, densidad poblacional, etc. (Muñoz, 1996).

Mediante esta metodología, no solo se permite visualizar una determinada zona a detalle, sino que también se puede construir diferentes escenarios para evaluar los daños que estos provocan en las poblaciones o la infraestructura (Gaytán, Arroyo, & Enríquez, 2011); por ejemplo, se podrá determinar qué áreas quedarán inhabilitadas o destruidas en caso de un evento de una erupción volcánica. En el mismo marco de referencia, Prathumchai y Samarakoon (2005) usaron los SIG para diseñar un plan de emergencia en caso de inundaciones en un distrito de Bangladesh. Este estudio usó mapas: el primero mostraba las zonas inundadas y no inundadas en diferentes momentos de un episodio de lluvias intensas, lo que permitió estimar el daño a la población según el escenario; mientras que el segundo mapa permitió identificar escuelas y hospitales en la zona que podían usarse como albergues e identificar sitios seguros en sí (Prathymchaip & Samarakoon, 2005).

Adicionalmente, a través de la aplicación del SIG, se permitió evaluar los costos para lograr tomar distintas decisiones, así como también observar el efecto de las inundaciones sobre potenciales albergues y rutas de evacuación Gaytán & Arroyo, 2012.

3.5. Método Delphi

Para la recopilación de información, se tomará como referencia la utilización del método Delphi. El método de Delphi consiste en “Una interrogación a expertos sobre un determinado tema mediante la ayuda de cuestionarios sucesivos, a fin de poner de manifiesto convergencias de opiniones y deducir eventuales consensos” (Nahmias, 2001).

Para levantar toda la información necesaria que servirá para la formulación del modelo de evacuación, se ha elaborado las siguientes preguntas que serán formuladas a las diferentes entidades encargadas de gestionar y mitigar los riesgos en el Ecuador, como es el caso de la Secretaria Nacional de Riesgos, la Defensa Civil y la Cruz Roja Ecuatoriana. Las preguntas se presentan a continuación:

Cuestionario Levantamiento de Información.-

1. ¿Qué sitios cubren los requisitos de seguridad especificados por Protección Civil y la Cruz Roja como para ser utilizados como albergues y centros de distribución ante un escenario de una erupción del volcán Cotopaxi?
2. ¿Qué zonas de la ciudad resultarían afectadas por los lahares del volcán Cotopaxi?
3. ¿Cuántos y cuáles albergues y centros de distribución conviene abrir y qué rutas hay que seguir para evacuar a la población, de tal manera que se optimice el costo y tiempo total de evacuación de los residentes afectados por la erupción?
4. ¿Qué centros de distribución deben abastecer a cuáles albergues, y a qué albergue conviene remitir a los residentes de las áreas afectadas por los lahares del volcán Cotopaxi?

5. ¿Qué rutas y modos de transporte se debe usar para trasladar a la población afectada a los albergues designados, de tal manera que se minimice el costo y tiempo de la evacuación?
6. ¿Qué lugares serán los más vulnerables al momento de la erupción del volcán Cotopaxi debido al desbordamiento de los lahares?
7. ¿Qué autoridades participaran en conjunto al momento de la evacuación de las personas afectadas por la Erupción Cotopaxi en el Valle de los Chillos?
8. ¿Actualmente se cuenta con planes de Evacuación simulacros y demás para la mitigación del riesgo potencial de afectación del volcán Cotopaxi en el Valle de los Chillos?
9. ¿Qué tipo de camiones «modelo», son los más utilizados para servir de apoyo para la evacuación de personas frente una catástrofe? ¿Cuál es la capacidad de los mismos?
10. ¿Cuánto en promedio cree usted que se debería demorar la evacuación de la población del Valle de los Chillos de los lugares afectados?
11. ¿Para fines del modelo se asumirá que los insumos que serán necesitados para apoyar a la población afectada ya se encuentran pre-posicionados en los centros de distribución con anterioridad?

En el Anexo 1, Metodología a utilizar, se muestra un bosquejo de las metodologías que se van a utilizar a manera de flujograma. Mientras que en el Anexo 2, se encuentran un extracto de la entrevista realizada a los expertos en la Secretaria Nacional de Riesgos.

CAPÍTULO 4.- CARACTERIZACIÓN DE ESCENARIOS CATASTRÓFICOS

Tomando como criterio de clasificación el origen de los desastres naturales, éstos se pueden agrupar en naturales e inducidos por el hombre (BIOCENOSIS, 1984). Por un lado, los primeros se pueden desglosar en meteorológicos, topográficos, telúricos y tectónicos, mientras que los causados por el hombre se subdividen en guerras, accidentes y contaminación de fuentes (Westen, 2001). En la figura 4-1, se presenta un esquema visual de la categorización de los diferentes desastres según su origen.

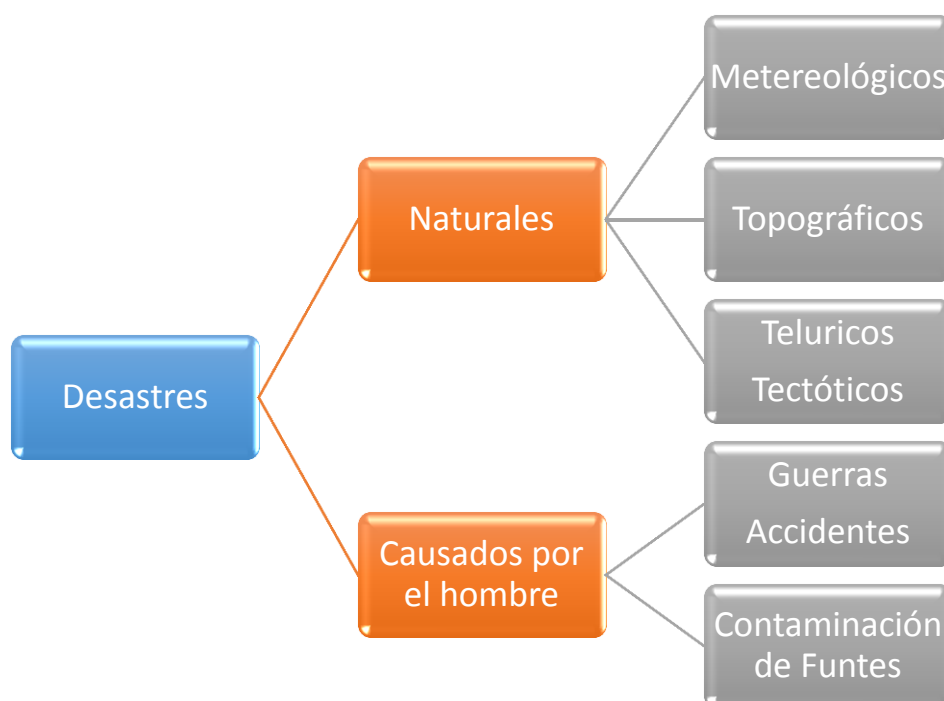


Figura 0-1 Clasificación de los desastres según su origen. Fuente International Institute for Geo Information Science and Earth

4.1. Riesgos inducidos en el Ecuador

Los riesgos causados por el hombre “son aquellos que fundamentalmente se desarrollan por error del mismo o abuso que éste hace en la explotación de los recursos que proporciona la naturaleza” (Román, 2006). Por ejemplo, según el diario el Mercurio en su publicación “El Hombre Causa Desastres del año 2012”, resaltan que en el Ecuador ninguna actividad industrial ha sido tan agresiva ambiental, social y culturalmente como la minería a cielo abierto. Esta actividad, que se ha venido

explotando ilícitamente por el hombre “utiliza grandes cantidades de cianuro, una sustancia muy tóxica que permite recuperar el oro del material removido” (Rodas, 2012). Así mismo, según la página web del Ministerio del Medio Ambiente del Ecuador, denotan que los incendios forestales (IF) son uno de los mayores riesgos inducidos por el hombre puesto que en promedio el 83% de los mismos son de carácter explícitamente intencionados.

4.2. Riesgos naturales en el Ecuador

“Los desastres naturales son conocidos como los acontecimientos no previstos que causan alteraciones en las personas, bienes, servicios y el medio ambiente, excediendo la capacidad de respuesta de la comunidad afectada” (Román, 2006). En el Ecuador, la historia narra diferentes eventos naturales que han azotado al país tales como: temblores, caída de ceniza, erupciones, inundaciones, sequías, entre otros. De hecho, según el informe de la Secretaria Nacional de Riesgos, “Reseñas básicas para la Gestión de Riesgos 2014”, durante las últimas décadas el Ecuador ha enfrentado una serie de eventos catastróficos cuyo carácter destructivo ha causado desequilibrios socioeconómicos y ambientales muy graves que en algunos casos han tenido consecuencias a largo plazo.

4.2.1. Clasificación de Riesgos Naturales en el Ecuador

El presente estudio está enfocado en la categoría de riesgos por desastres naturales, debido a que según la base de datos EM- DAT (*Emergency Events Data Base*) del *centre de Recherches sur l' Epidemiologie des Desastres (CRED, Universidad de Lovania, Bruselas)*, el Ecuador registra 101 desastres Naturales desde inicios del siglo XX. De hecho, “estos desastres han causado la muerte de aproximadamente 15000 personas y han dejado siniestradas a más de 4 millones, cifra importante que refleja la magnitud del tema y por tanto, la necesidad de presentar

especial atención y analizar este tipo de desastres” (Robert, D'Ercole , Pigeon, & Serrano, 2009).

Adicionalmente, vale recalcar que “el Ecuador se encuentra situado en una de las zonas de mayor complejidad tectónica del mundo, en el punto de encuentro de las placas de Nazca y Sudamérica” (Instituto Geofísico del Ecuador , 2014). Inclusive, según el Instituto Nacional de Meteorología Hidrología (INAMHI), el Ecuador no solo se encuentra ubicado en una zona de alta complejidad tectónica, sino también dentro del cinturón de bajas presiones que rodea el globo terrestre en la zona de convergencia intertropical, un área sujeta a amenazas hidrometeorológicas como inundaciones, sequías, heladas o efectos del fenómeno del Niño.

Como lo explica el INAMHI, en su informe “Proyecto de Fortalecimiento del INAMHI en el apoyo de la gestión integral del riesgo de desastres naturales y el cambio climático en el Ecuador, 2013”, el Ecuador cuenta con seis tipos de amenazas naturales latentes, entre las que se encuentran: sismos (terremotos), tsunamis (maremotos), erupciones volcánicas, inundaciones, movimientos de masas tectónicas (deslizamientos de tierras) y sequías. Estas amenazas han ocurrido un sinnúmero de veces y han sido reportadas según el grado de impacto que han tenido. Por ello, cabe advertir que los registros históricos solo mencionan aquellos eventos que tuvieron consecuencias notables en los asentamientos humanos. En la siguiente tabla se presentan las amenazas naturales acontecidas en el Ecuador desde 1587 hasta 1999. En esta tabla considerada únicamente los fenómenos naturales que han causado pérdidas humanas, impactos socioeconómicos y han paralizado las actividades laborales de ciertas partes del país.

Tabla 2 Amenazas Naturales acontecidas en el Ecuador desde 1587-1999. Fuente Cruz roja del Ecuador, (2012)

<i>Fecha</i>	<i>Tipo de Fenómeno</i>	<i>Lugar afectado</i>	<i>Consecuencias</i>
1587	Terremoto	Quito- Cayambe	Gran destrucción de San Antonio de Pichincha- más de 200 muertos
1640	Derrumbo	Cacha	Desaparición del pueblo de Cacha, cerca de Riobamba. <u>Aprox</u> 5000 muertos
1645	Terremoto	Quito- <u>Riobamba</u>	Muchos estragos en Ambas ciudades. Centenares de fallecidos
1660	Erupción Volcánica Guagua Pichincha	Quito	Destrucción de Techos, contaminación del agua. Perturbación en los cultivos.
1687	Terremoto	Ambato - <u>Pelileo</u> - Latacunga	Destrucción de Ambato, Latacunga y pueblos aledaños <u>Aprox</u> 7200 Muertos
1698	Terremoto	Latacunga	Estragos notables pero menores a los del terremoto del 1967
1736	Terremoto	Provincia de Cotopaxi	Daños graves a casas, iglesias , muchas haciendas afectadas
1742	Erupción Volcánica Cotopaxi	Valles Interandinos-Quito Latacunga	Haciendas arruinadas, ganados, cultivos arrebatados, destrucción de puentes y centenares de muertos
1755	Terremoto	Quito	Destrucción de un sin número de Edificios
1757	Terremoto	Latacunga	Destrucciones materiales considerables <u>aprox</u> 4000 personas fallecieron
1768	Erupción Volcánica Cotopaxi	Valles Interandinos-Quito Latacunga	Perdidas agrícolas, hundimiento de casas a causa del peso de la ceniza. <u>Aprox</u> 30 Fallecidos.
1797	Terremoto	Riobamba	Destrucción total de la ciudad entre 13000 y 31000 muertos. Epidemias e impacto socioeconómico alto.
1840	Terremoto	<u>Patate-Pelileo</u>	Estragos materiales
1856	Terremoto	Cuenca-Riobamba- <u>Alausi</u>	Daños de algunas Iglesias, destrucción vías. Algunos muertos
1859	Terremoto	Quito Valle de los Chillos	Graves daños materiales serios estragos en poblaciones centenar de víctimas <u>aprox</u>
1868	Terremoto	<u>Otavalo Atuntaqui</u> Ibarra	Grandes averías en casas e iglesias, decenas de muertos
1877	Erupción Volcánica Cotopaxi	Valles Interandinos-Quito Latacunga	Los <u>Lahares</u> causaron muerte de 1000 personas aprox. Casas arrasadas, haciendas devastadas
1886	Erupción Volcánica Tungurahua	Sectores Circundantes al Volcán	Perturbación de los cultivos.
1896	Terremoto	Bahía de <u>Caráquez</u> Portoviejo	Destrucción Parcial de Edificios 10 muertos y varios heridos
1906	Tsunami	Esmeraldas	Decenas de muertos, daños considerables por inundaciones
1914	Terremoto	Pichincha	Destrucción de Casas

1918	Erupción Volcánica Tungurahua	Baños y otros caseríos	Aluvión de lodo desbaste a algunos sitios, arrebato a casas y a animales
1923	Terremoto	<u>Carchí</u>	Casas devastadas, daños a caminos 3000 víctimas aprox y 20000 personas sin techo.
1942	Terremoto	Guayaquil-Portoviejo	Pérdidas cuantiosas 200 muertos y centenares de heridos
1944	Terremoto	<u>Pastocalle-Saquisilí</u>	Destrucción parcial de edificios y viviendas
1949	Terremoto	Ambato y <u>Pelileo</u>	Ciudad integralmente destruida -6000 muertos y miles de heridos. Aprox 100000 personas sin hogar, consecuencias socioeconómicas elevadas.
1958	Maremoto	Esmeraldas	Colapso total de casas antiguas y parciales de construcciones nuevas, destrucción de barcos 4 ó 5 muertos.
1965	Inundaciones	Costa	Pérdidas agrícolas 5000 damnificados. Daños evaluados a 4 millones de dólares.
1970	Terremoto	Frontera Sur	Destrucción casi total de algunas cabeceras cantonales, impacto económico considerable. Aprox 1000 muertos entre Ecuador y Perú.
1973	Inundaciones	Costa	Pérdidas agrícolas, daños a carreteras 30000 damnificados
1973	Inundaciones	Costa	Pérdidas agrícolas, daños a carreteras 30000 damnificados
1982-83	Inundaciones	Guayas -Manabí Esmeraldas	600 muertos , 650 millones de dólares de pérdidas
1987	Terremoto	Oriente Pichincha Imbabura	3500 muertos. reducción en un 60 % de los ingresos por explotación.(Se dañó el oleoducto transecuatoriano)
1992	Inundaciones	Costa	Pérdidas agrícolas -22 muertos 205000 personas afectadas
1993	Deslizamiento	Rio Paute en aval de Cuenca	50 muertos y 147 millones de dólares de daños directos
1997-98	Inundaciones	Costa	286 muertos 30000 damnificados puentes destruidos carreteras dañadas impacto socioeconómico serio.
1998	Terremoto	Bahía de <u>Caráquez</u>	3 muertos – 40 heridos 750 personas sin hogar 150 casas destruidas 250 dañadas
1999	Erupción Volcánica Guagua Pichincha	Quito- <u>Llóa</u>	2000 personas desplazadas (<u>Llóa</u>) pérdidas de ganado perturbación del flujo aéreo
1999	Erupción Volcánica Tungurahua	Baños	40 Muertos (por la evacuación) 25000 evacuados pérdidas agrícolas estimadas 17600000 USD.

En base a los datos de la tabla 2 Amenazas Naturales acontecidas en el Ecuador desde 1587-1999 de la Cruz Roja del Ecuador, se pudo analizar y obtener las estadísticas mediadas presentadas a través del Histograma de Amenazas Naturales Acontecidas en el Ecuador.

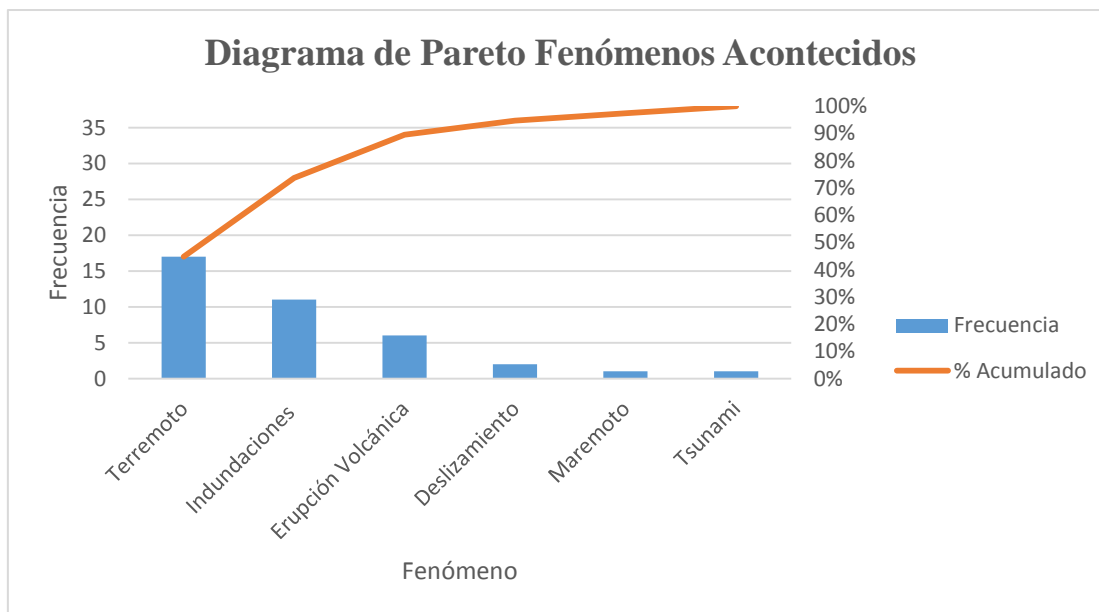


Figura 4-2 Pareto de Fenómenos Naturales Acontecidos en el Ecuador. Fuente elaboración propia con datos de la Cruz Roja

Como se puede ver en la *figura 4.-2 Pareto de Fenómenos Naturales Acontecidos en el Ecuador*, los terremotos constituyen el mayor índice de incidencia, seguido de las inundaciones. Por ello, es de suma importancia enfocarse en éste riesgo tomando en consideración que tiene más probabilidad de ocurrencia en la región Sierra.

Por otra parte, en el mismo contexto y en complemento a la información presentada en el Pareto de Fenómenos Naturales Acontecidos en el Ecuador, la Fundación Natura en apoyo conjunto de la Defensa Civil, y la Université Savoie, han presentado del mismo modo, a manera gráfica, las frecuencias de catástrofes registradas desde los años 1500-2000 en el Ecuador.

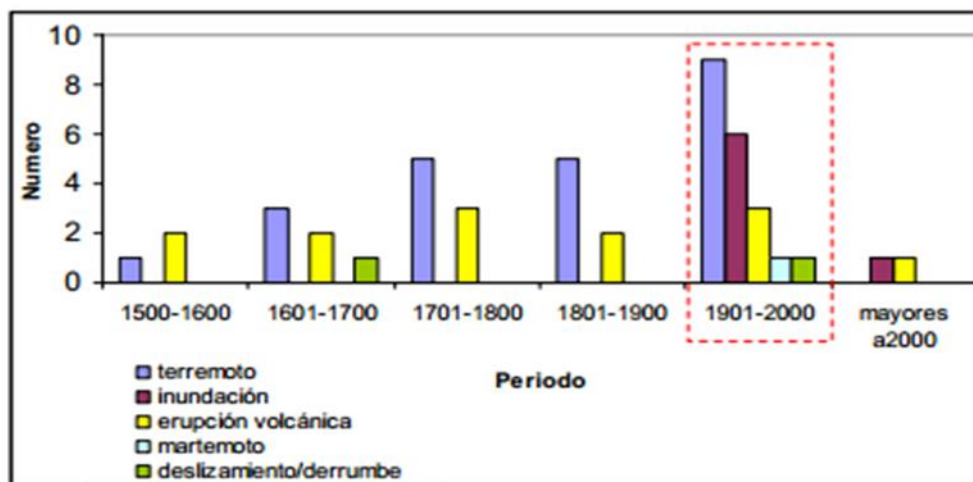


Figura 4-3 Catástrofes Naturales Registradas desde el año 1500- 2000 en el Ecuador. Fuente: Fundación Natura, Defensa Civil, Lloy CSCA, Universite, 2004

En este contexto como se puede apreciar en la figura 4.-3 Frecuencias de Catástrofes Naturales Registradas desde el año 1500 hasta el año 2000 en el Ecuador y de acuerdo a los datos disponibles a la escala nacional, las amenazas de mayor incidencia y recurrencia han sido terremotos seguidas de inundaciones, erupciones volcánicas y deslizamiento (derrumbes respectivamente).

Adicionalmente, al analizar los datos disponibles en la Tabla 2 desastres naturales acontecidos en el Ecuador desde 1587-1999 de la Cruz Roja del Ecuador, se puede categorizar los desastres naturales ocurridos por región como se presenta a continuación.

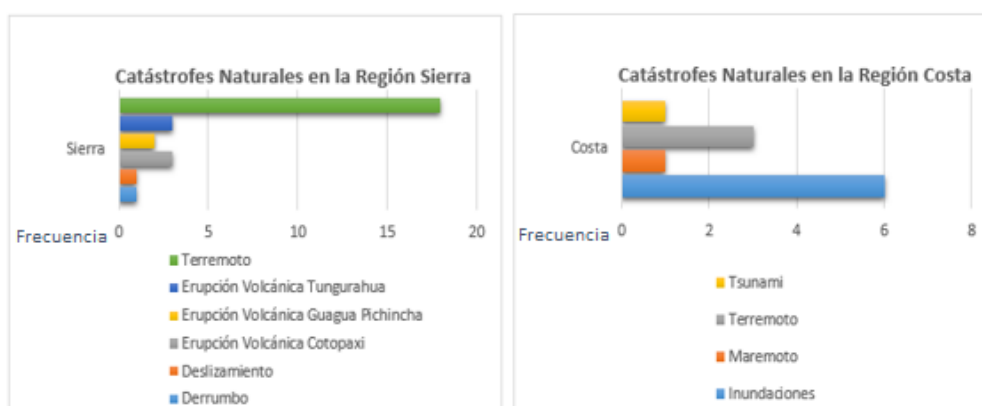


Figure 4-4Categorización de los desastres naturales según la región. Fuente elaboración propia con datos de la Cruz Roja Ecuatoriana, 2013

Como se puede apreciar en el gráfico 4-4 Categorización de los Desastres Naturales Según la Región, los terremotos, junto con las erupciones volcánicas son las amenazas que se han presentado con mayor frecuencia en la región Sierra del país. Mientras que las inundaciones, por su parte, han sido las amenazas que han azotado con mayor insistencia la región Costa y el litoral del país.

Debido que el estudio se lleva a cabo desde la perspectiva del manejo de las operaciones de transporte y distribución que se llevan a cabo en la zona sierra del país, específicamente en el Valle de los Chillos, es importante enfocarnos en las amenazas latentes que se han producido en la Región Sierra. Por ello, estudiar la historia de las erupciones volcánicas acontecidas en el país es razón de este estudio.

Según los datos del “*International Disaster Database*”, del *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED), los terremotos representan cerca del 56 % en pérdidas económicas debido a una emergencia, mientras que las erupciones volcánicas e inundaciones representan cerca del 6 % y 19 % respectivamente. Ver gráfico 4.-5 Diagrama de Pastel Porcentaje de Afectación de Pérdidas Económicas.



Gráfico 4-4 Diagrama de Pastel del Porcentaje de pérdidas Económicas frente una Amenaza: Fuente Elaboración Propia con datos de la Cruz Roja Ecuatoriana, 2013

Sin embargo, si bien es cierto, los terremotos constituyen el mayor porcentaje de pérdidas económicas con cerca del 56% según los datos del *International Disaster Database*", del *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)*, las erupciones volcánicas específicamente, las del volcán Cotopaxi representan la amenaza más latente y probable que puede ocasionar incuantificables pérdidas socioeconómicas en la zona del Valle de los Chillos (Carrillo, 2005).

Según Aguilera y Toulkeridis, 2005 en su publicación, "El Volcán Cotopaxi una Amenaza que Acecha", del volcán Cotopaxi, se originan tres grandes drenajes: los ríos Tambo –Tamboyacu-Napo hacia el este, Pita-Guallabamba- Esmeraldas al norte y Cutuchi Pastaza al Sur. Estas vertientes que atraviesan por ciudades pobladas, se convierten en canales de tránsito, por donde al momento de una erupción los flujos de lodo o lahares podrán circular arrasando con las localidades habitadas tales como: Latacunga y Salcedo que se encuentran cerca del río Cutuchi; Sangolquí, San Rafael y Tumbaco que están asentados cerca del río Pita, Santa Clara y San Pedro. (Aguilera y Toulkeridis, 2005).

Por otro lado, los relatos de las erupciones históricas del volcán Cotopaxi y las investigaciones acerca de su historia geológica han demostrado que se trata de uno de los volcanes más peligrosos en Ecuador, sobre todo por la constante amenaza relacionada a la generación de lahares que en el pasado afectaron enormemente a las poblaciones cercanas al volcán (Ordoñez, Samaniego, Mothes, & Schilling, 2013). En paralelo a las investigaciones que se han realizado acerca de la historia de este volcán, estudios de (Aguilera y Toulkeridis, 2005), han determinado que la probabilidad de tener una nueva erupción como la última del año 1877 es de 57% y 82%. Desde 1877, su última fase eruptiva hasta el 2014, han transcurrido 137 años, por lo que nos

encontramos dentro de su período de retorno de actividad volcánica con una probabilidad de alrededor de 69% en el transcurso de los siguientes 6 años.

A inicios de 1877 se produjeron las primeras caídas de ceniza que se mantuvieron hasta las primeras semanas de Junio. En la mañana del 26, la actividad incremento súbitamente hasta alcanzar niveles muy altos en los cuales se produjeron extensos flujos piroclásticos ricos en escoria y una gran columna eruptiva de gases y de ceniza volcánica. Esta erupción provocó que una parte significativa del glaciar se derrita y forme potentes flujos de lodo y escombros que descendieron por todos los flancos del volcán. Estos flujos inundaron y destruyeron muchos poblados e infraestructura (puentes, fabricas, graneros, sistemas de riego, haciendas y casas) que habían sido reconstruidos en décadas anteriores, tanto al Norte como al Sur del volcán, y que también fueron afectados por erupciones pasadas del Cotopaxi. Cientos de personas murieron a causa de este fenómeno. Después de esta erupción violenta, el volcán se mantuvo activo durante algunos años más y produjo erupciones menores con caída de ceniza y pequeños flujos de lahares. Los últimos vestigios de actividad (fumarolas activas y pequeñas emisiones de gases ocurrieron en 1940 y 1976)” (Ordoñez, Samaniego, Mothes, & Schilling, 2013)

Por ello, en razón de todo lo expuesto se hace indispensable realizar estudios de este fenómeno que está latente, a fin de poder delimitar las áreas de inundación (zonas de riesgo) a causa de los diferentes drenajes que atraviesan por zonas pobladas como es el caso del Valle de los Chillos.

4.3. Descripción y Evaluación del Riesgo

Tomado la definición de Robert D`Ercole en su estudio titulado: Complejidad, incertidumbre y vulnerabilidad: el riesgo asociado al volcán Cotopaxi en el Valle de los Chillos (Quito-Ecuador), (2007). El Volcán Cotopaxi, al estar ubicado en la cordillera

oriental de los Andes, a tan solo 45 km del Valle de los Chillos y 60 Km de la ciudad de Quito, se convierte en una importante amenaza potencial. Con una altura de aproximadamente 5897 metros y un cráter de aproximadamente 800 metros de diámetro, “es el volcán activo más alto en la tierra” (Aguilera, Pareschi, Rosi, & Zanchetta, 2004). Según, Aguilera, Pareschi, Rosi, & Zanchetta, 2004, el volcán, Cotopaxi ha experimentado en épocas pasadas, alrededor de 13 erupciones de importancia con índices de severidad de 3 -4 según de acuerdo al índice de explosividad volcánica, cuyo valor máximo según los vulcanólogos es de 5.

“En épocas pasadas, las erupciones de este volcán evidencian la producción de flujos piroclásticos, caída de ceniza y lahares (flujos de lodo y escombros ligados al derretimiento del casquete glaciar durante una erupción, los cuales han destruido varias zonas pobladas a su paso dejando aproximadamente 25000 muertos” (Blong, 1984).

4.4. Peligros Asociados

Según el estudio de Salazar, (2008) “Percepción de amenazas y riesgos de la población del Valle de los Chillos (Ecuador) frente a una potencial erupción del volcán Cotopaxi” el escenario volcánico más probable, en base al histórico de actividades volcánicas, originaría los siguientes peligros volcánicos:

- **Caída de Ceniza**

“Este fenómeno relacionado directamente con la actividad volcánica explosiva, se origina cuando el magma fragmentado en partículas finas (tefra), forma una columna ascendente que es impulsada hacia la atmósfera por la expansión de los gases y posteriormente, por las corrientes de convección que genera el diferencial térmico entre la columna caliente y el aire frío que la rodea.” (Aguilera & Toulkeridis, Prevención de los riesgos asociados con la erupción del volcan Cotopaxi, 2006). Las erupciones que producen caídas de ceniza varían desde explosiones pequeñas que expulsan el material

hasta pocos kilómetros de altura sobre el cráter y duran pocos minutos, hasta grandes explosiones que pueden durar decenas de minutos hasta varias horas y que lanzan material piroclástico hasta varias decenas de kilómetros de altura (Andrade, Hall, Mothes, Rivero, & Yepes, 2005).

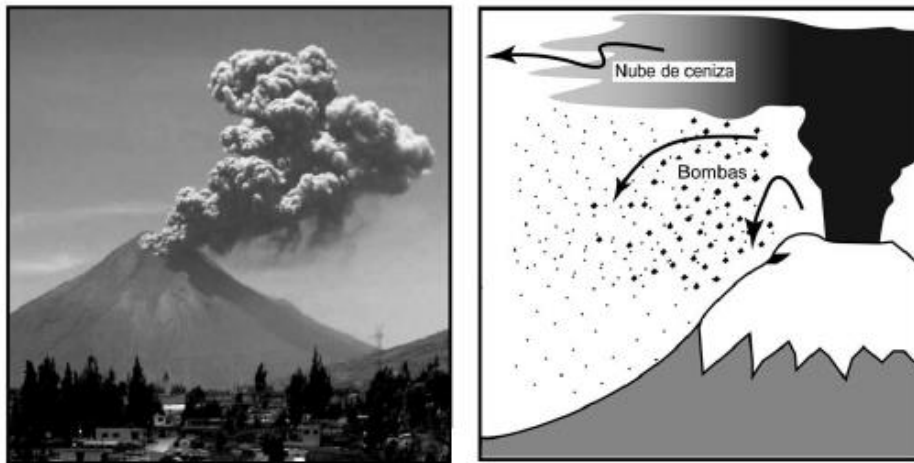


Figura 4-5 Fotografía de una explosión del volcán Tungurahua en el 2004. Fuente: Foto de J-L-L en Pennec

- **Flujos Piroclásticos**

Los flujos piroclásticos son mezclas muy calientes (frecuentemente de temperatura mayor a 500 °C) de gases, ceniza y fragmentos de roca, que descienden desde el cráter en forma de avalancha por los flancos del volcán, desplazándose a grandes velocidades (a veces > 200 kilómetros por hora) y que ocurren generalmente de forma súbita e impredecible durante fases eruptivas fuertes y explosivas (Andrade, Hall, Mothes, Rivero, & Yepes, 2005). Según Andrade, Hall, Mothes, Rivero, & Yepes, 2005), los flujos piroclásticos constan de dos partes; un componente inferior, más denso, constituido por ceniza, fragmentos de roca y bloques de escoria, que se desplaza por el fondo de los valles y quebradas; y, un componente superior, mucho menos denso pero más voluminoso, constituido mayormente por ceniza volcánica y gases calientes, que se desplaza por sobre el

componente inferior, pudiendo salir de los valles y sobrepasar relieves importantes.

En la Figura 4-7 se esquematiza una figura de los flujos piroclásticos.

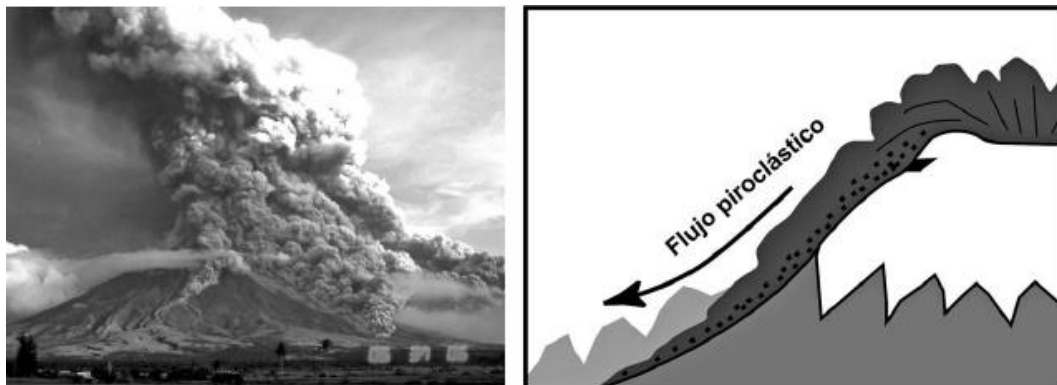


Figura 4-6 Fotografía de los flujos piroclásticos descendiendo por los flancos del volcán Mayón Filipinas. Fuente : C Newhall, USGS

- **Lahares**

“Debido a los drenajes del Volcán Cotopaxi, los lahares son uno de los principales riesgos asociados al peligro de una erupción” (Robert, D'Ercole , Pigeon, & Serrano, 2009). Según D'Ercole el volcán posee tres drenajes principales al norte, los cuales comprenden el sistema de los ríos Pita-San Pedro-Guayllabamba, los cuales siguen su curso por los valles de Tumbaco y los Chillos.

Según, (Aguilera y Toulkeridis, 2006), en su publicación sobre los riesgos asociados con la erupción del volcán Cotopaxi, los lahares en el Cotopaxi, estarían generados por flujos piroclásticos, ceniza o flujos de lava que provocarían la fusión rápida de importantes sectores del casquete glaciar. Una vez formados, éstos descenderían rápidamente (20-50 km/h) por los flancos del cono, siguiendo las quebradas, drenajes, ríos y los valles circundantes.

Debido a su alta velocidad y densidad, los lahares pueden mover e incluso arrastrar objetos de gran peso y tamaño (puentes, vehículos, grandes árboles, etc).

Adicionalmente los lahares pueden viajar cientos de kilómetros poniendo en peligro

poblaciones muy distantes que viven o trabajan cerca o en el fondo de los valles (Cadier et al., 2004).



Figura 4-7 Fotografía de lahares descendiendo por los flancos del volcán Mayón Filipinas. Fuente: C. Newhall, USGS

En razón de los peligros expuestos del volcán Cotopaxi, mencionados anteriormente, junto con los estudios realizados por el Instituto Geofísico del Ecuador, como los realizados por (Andrade, Hall, Mothes, Rivero, & Yepes, 2005), se ha identificado que el principal riesgo en caso de erupción del Cotopaxi son los lahares, generados por el deshielo brutal que convergen por los flacos y drenajes de los Ríos Pita, Santa Clara y San Pedro que atraviesan por poblaciones habitadas como lo son el Valle de los Chillos y Latacunga.



Figura 4-8 Cartografía de los Lahares del Cotopaxi. Fuente: IG EPN, 2008

4.5. Límites de la Zonificación y Área de Estudio

El valle de los Chillos está ubicado al suroriente del distrito Metropolitano de Quito en la provincia de Pichincha. Está situado aproximadamente a 45 km del Volcán Cotopaxi, según la página web del Instituto Geofísico del Ecuador (Anexo 3). Su altitud promedio es de 2.550 msnm. “Limita al norte con el cerro Ilaló, al sur con los Volcanes Pasochoa y Sincholagua al este con el Volcán Antisana y al oeste con la loma de Puengasi que le separa de la ciudad de Quito” (Salazar, 2008).

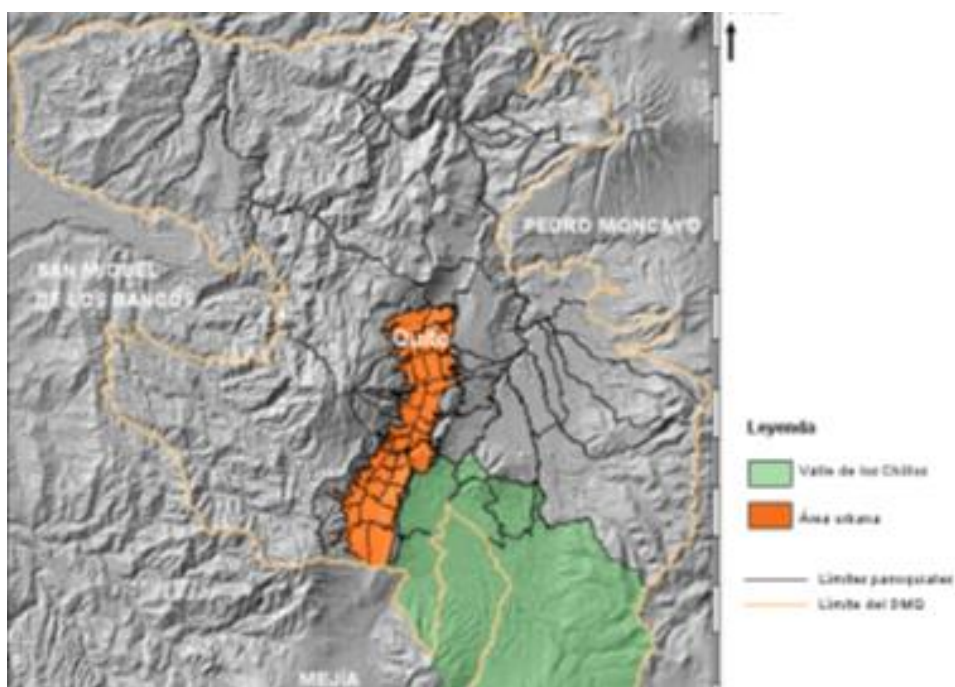


Figura 4-9 Ubicación área de estudio. Valle de los Chillos. Fuente: Instituto Geográfico del Ecuador, 2008

Esta cuenca, a tan solo 30 minutos de la capital de Quito, comprende una aglomeración urbana con características similares en relación con los habitantes capitalinos como se puede ver en la *Figura 4-10*. El Valle de los Chillos se encuentra delimitado por los ríos Pita, San Pedro y Capelo, “límites que dividen al Valle de los Chillos en dos: La Administración Zonal del Valle de los Chillos (AZVCH) y el cantón Rumiñahui” (Salazar, 2008).

4.5.1. Administración Zonal Valle de los Chillos (AZVCH)

La AZVCH, creada en 1997, ejerce sus competencias en la zona súbana del valle. Es una de las ocho administraciones desconectadas del Distrito metropolitano de Quito (DMQ) y está conformada por seis parroquias rurales: Guangopolo, Conocoto, Alangasí, La Merced, Amaguaña y Pintag (Gobierno Autónomo Decentralizado Municipal de Rumiñahui, 2012) .

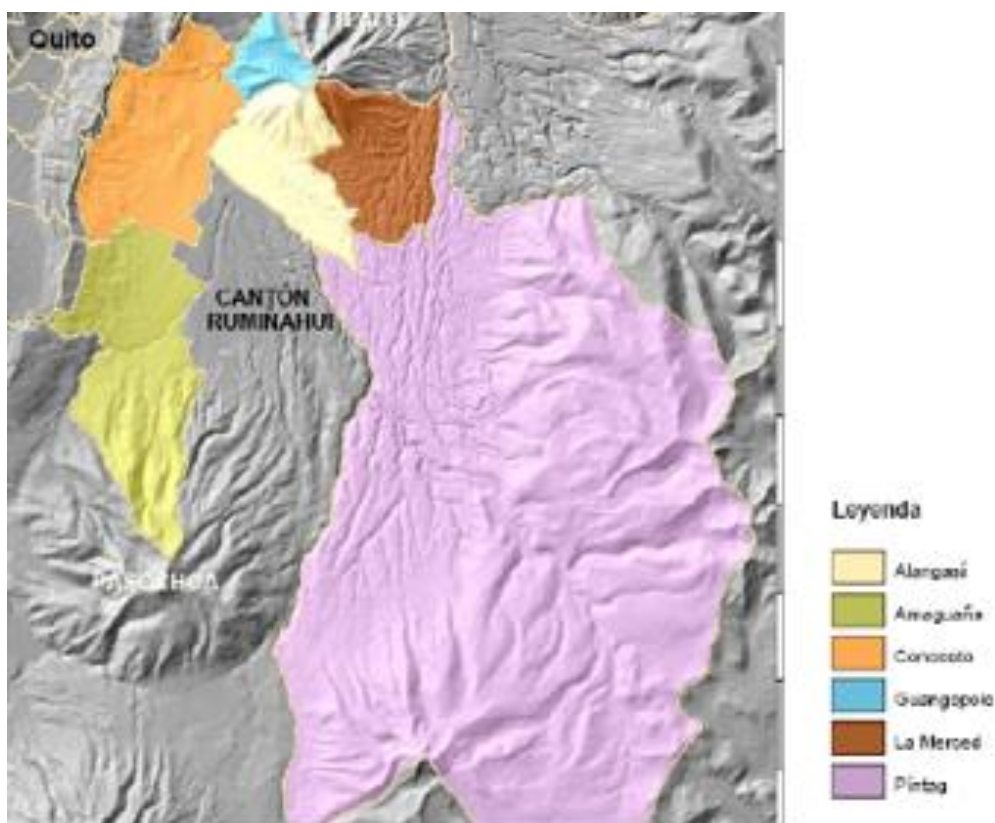


Figura 4-10 Conformación político administrativa de la AZVCH. Fuente Gobierno Autónomo Decentralizado del Municipio de Rumiñahui

4.5.2. Cantón Rumiñahui

“El cantón de Rumiñahui, creado en 1938, es el cantón más pequeño de la Provincia de Pichincha, con una extensión de apenas 13500 habitantes. Limita con (AZVCH) y está formado por tres parroquias: Cotogchoa, Rumipamba (rurales) y Sangolquí (urbana)” (Salazar, 2008).

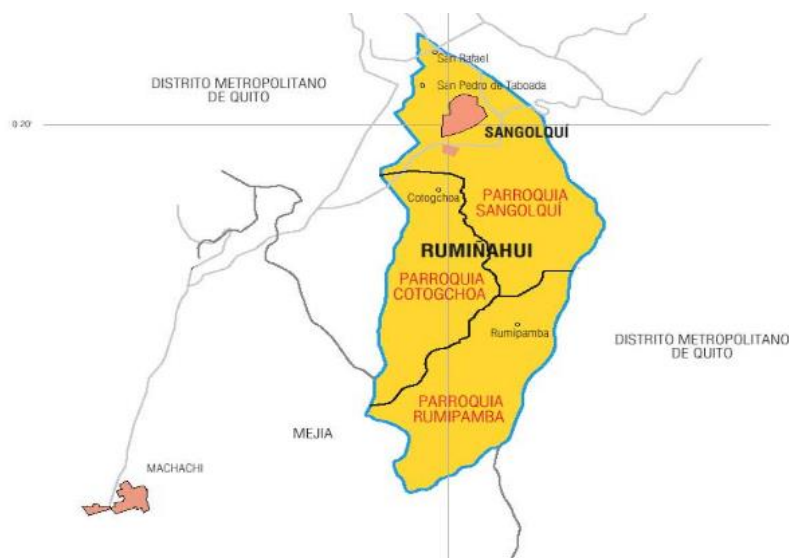


Figura 4-11 División por Parroquias del Cantón Rumiñahui. Fuente: www.viverumiñahui.com

4.5.3. Delimitación del área de estudio

El mapa que se ilustra a continuación sirve para observar la extensión de los lahares en el Valle de los Chillos. Este mapa, a su vez, sirve como referencia para restringir el área de estudio que estará enfocada únicamente a aquellas parroquias que se puedan ver afectadas por los lahares en caso que se presente una materialización del riesgo latente de erupción del Volcán Cotopaxi. De esta manera, se tomarán en cuenta las parroquias de Guangopolo, Conocoto, Alangasí, gran parte de Sangolquí y parte de Pintag.

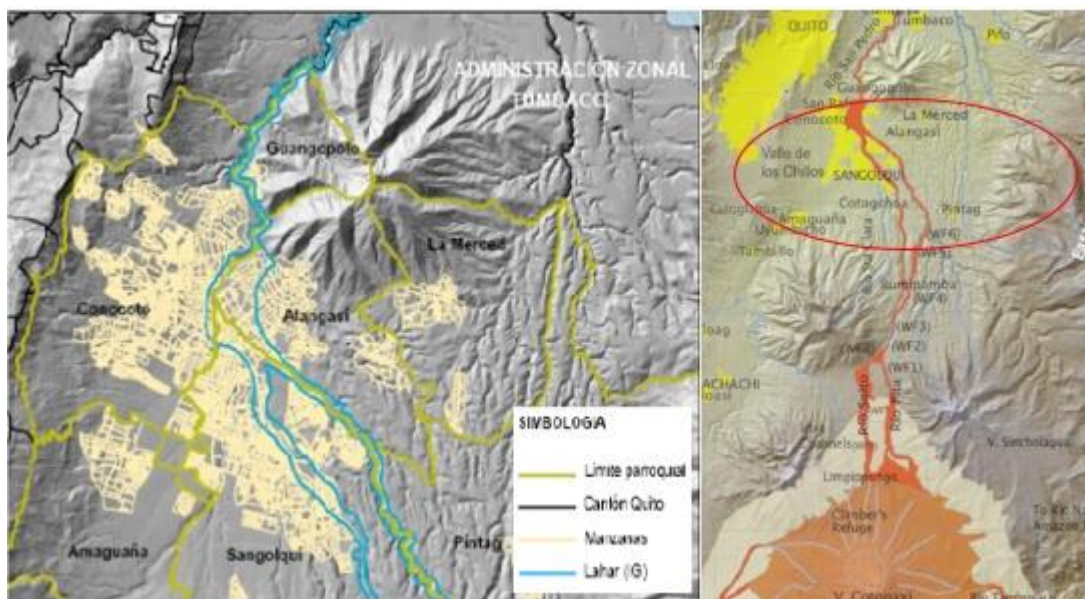


Figura 4-12 Asentamientos urbanos en zona de mayor peligro por lahares en el Valle de los Chillos. Fuente Salazar, 2008.

4.6. Análisis de la Vulnerabilidad de la Población del Valle de Los Chillos

Como se mencionó anteriormente, el Ecuador es un país ubicado en una zona de alto riesgo con alta complejidad tectónica donde pueden ocurrir desastres tales como terremotos, erupciones volcánicas, deslizamientos, maremotos, sequías, entre otros fenómenos naturales que afectan a la humanidad. (Instituto Geofísico del Ecuador , 2014) “Si bien en la mayoría de ellos es difícil establecer con exactitud cuándo sucederán y cuál será su magnitud, estar preparados en materia de riesgos, conocer el perímetro de afectación y la vulnerabilidad de la población afectada puede marcar una diferencia para salvar no sólo recursos económicos, sino ante todo, vidas humanas” (Kuroiwa, 2002). Por tanto, con el fin de afrontar de manera competente algún desastre imprevisto, es imperante conocer y recopilar información de la población en estudio, ya que caso contrario puede resultar fuertemente afectada.

4.6.1. Características Generales

Según el censo de 2010, el cantón Rumiñahui cuenta con una población total de 85.852,00 habitantes, de los cuales 75.080,00 pertenecen a la población urbana, mientras que 10.772,00 a la rural. De Acuerdo al último censo Nacional de Población y

Vivienda, ejecutado por el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), en el año 2010, los siguientes son los datos que corresponden al cantón Rumiñahui por parroquias.

Tabla 3 Población rural y urbana en el Valle de Los Chillos Fuente: INEC, 2010

Parroquias Urbanas				
Parroquia	Habitantes	Porcentaje Población	Superficie (Km2)	Densidad Hab/Km2
Sangolquí	59,196	(68,95%)	49,9 Km2	1,186
San Pedro Taboada	11,982	(14%)	4,9 Km2	2,447
San Rafael	9,952	(11,6%)	2,7 km2	3,686
Parroquias Rurales				
Parroquia	Habitantes	Porcentaje Población	Superficie (Km2)	Densidad Hab/Km2
Cotogchoa	3,937	(4,6%)	34,6 Km2	114
Rumipamba	775	(0,9%)	40,5 Km2	19

Como se puede apreciar en la tabla 3 (Población rural y urbana en el Valle de los Chillos), la parroquia de Sangolquí, junto con la de San Pedro Taboada son las parroquias que presentan el mayor número de habitantes. Sin embargo, es importante considerar también la parroquia de San Rafael, debido a que, si bien esta no presenta el mayor porcentaje de habitantes, cuenta con la mayor densidad poblacional por Km2. Esta alta densidad poblacional se debe a que en San Rafael “se concentran importantes actividades de comercio, restaurantes, centros comerciales y oficinas a los que se agregan también los establecimientos escolares” (Rumiñahui Gobierno Autónomo Decentralizado Municipal, 2012).

Debido a este agravante geográfico y la incertidumbre que se presenta ante una erupción inesperada que puede ocurrir en cualquier hora del día, “se justifica el interés, incluso la necesidad de evaluar a la población del “día”, noche, fines de semana,

principales lugares de concentración y tipos de actividades asociadas (Robert, D'Ercole , Pigeon, & Serrano, 2009).

A continuación, se presenta una *figura 4.-14* de la zona según el área expuesta entre los brazos de los lahares de la población del día, noche y fines de semana.

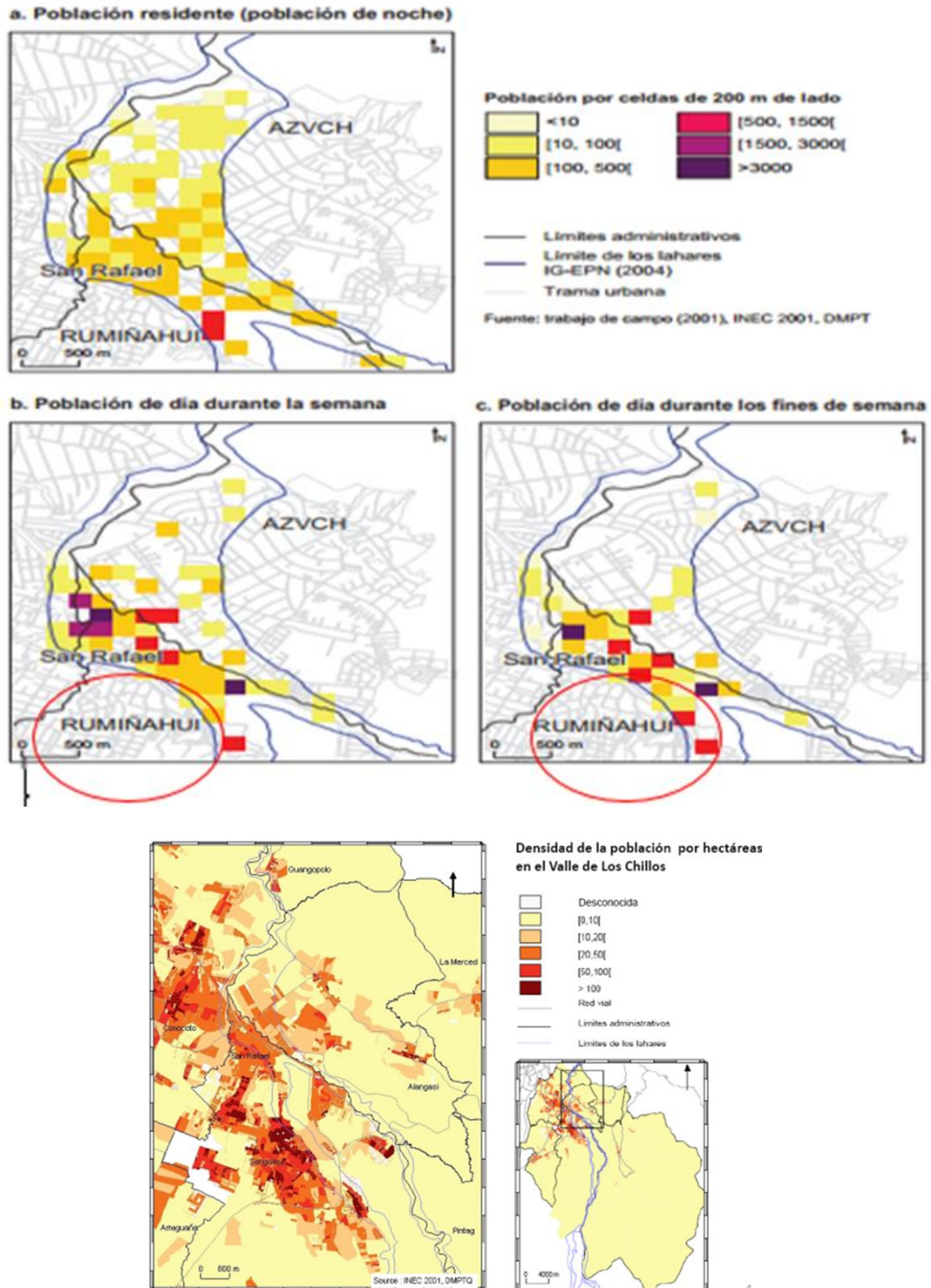


Figura 4-13 Cuantificación, Según el periodo de la población de San Rafael expuesta a los lahares del volcán Cotopaxi: Fuente trabajo de campo (2001), INEC 2001

Como se puede observar en la Figura 4- 14, son puntuales los lugares de mayor densidad poblacional como el centro comercial San Luis Shopping, especialmente frecuentado en el día. “Este concentra a más de 8000 personas diarias entre semana, y 16000 personas los fines de semana.” (Rumiñahui Gobierno Autónomo Decentralizado Municipal, 2012). Por otro lado, también los colegios y las instituciones escolares son grupos particularmente importantes. En efecto, según el INEC, (2013) existen cerca de 17000 alumnos en instituciones escolares, mientras que la ESPE concentra más de 9000 estudiantes en una zona potencialmente aislada.

4.6.2. Estructura de la población

“La población menor a 10 años representa el 20% en el Valle de los Chillos, mientras que el 6% corresponde a personas mayores a 65 años. Sin embargo, la población menor a 10 años alcanza hasta un 40% en ciertos sectores rurales, mientras que las áreas urbanas centrales concentran gran parte de la población de edad avanzada” (Robert, D'Ercole , Pigeon, & Serrano, 2009). Ver figura 4-15 y 4-16

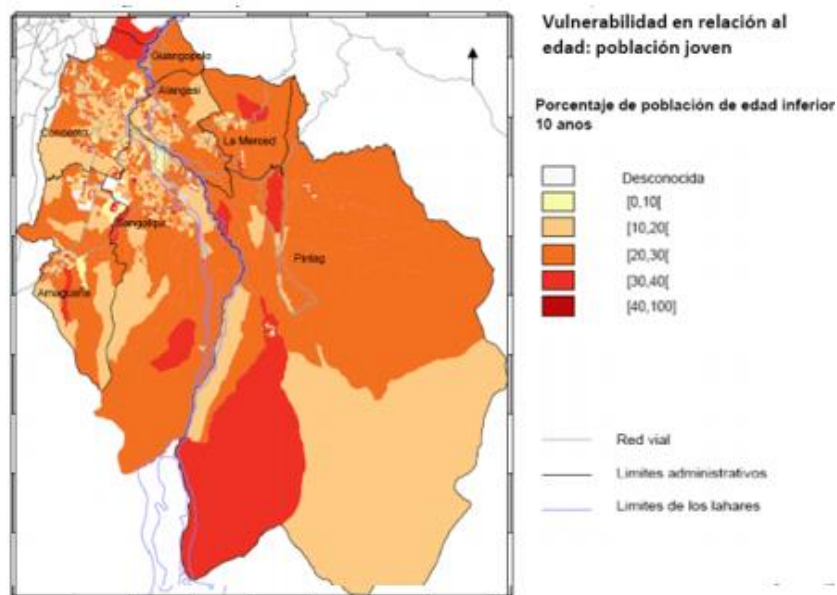


Figura 4-14 Vulnerabilidad en relación a la edad: Población Joven: Fuente INCEC, 2013

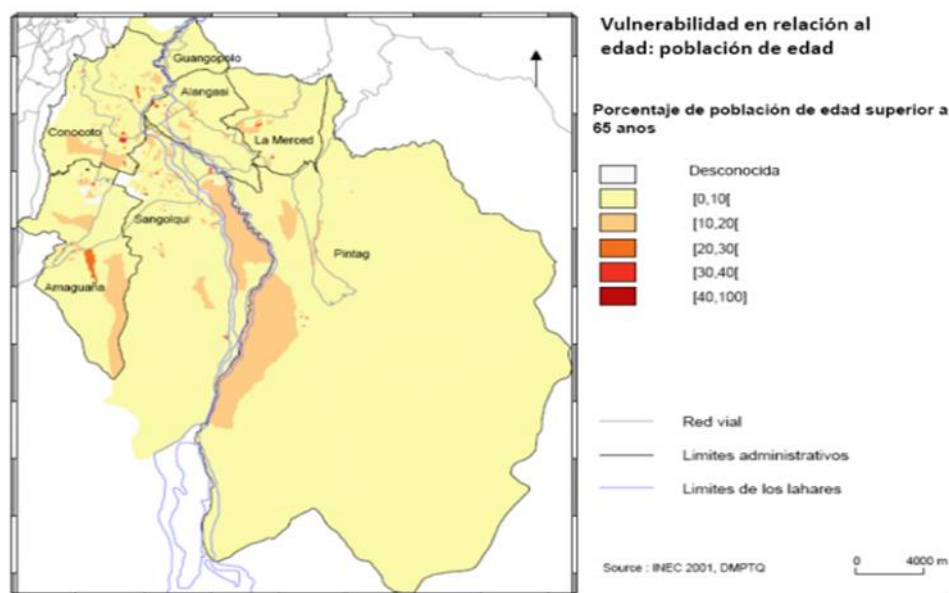


Figura 4-15 Vulnerabilidad en relación a la edad: Población Mayor: Fuente INEC, 2013

En las Figuras 4-15y, 4- 16, se puede apreciar la distribución y la vulnerabilidad tanto de la de la población joven menor a 10 años como de la población de edad superior mayor a 65 años. Mediante estas figuras, se puede observar que existe una mayor vulnerabilidad en las zonas rurales de la población joven, mientras que la población de edad avanzada la presenta en zonas de mayor urbanización.

4.6.3. Evolución de la población

Según la Administración Zonal del Valle de los Chillos (AZVH), (2013) en su informe de Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, hace 50 años este valle estaba ocupado por haciendas. Sin embargo, con el paso de los años, se ha convertido en una zona atractiva de desarrollo la misma que, poco a poco, ha aumentado su ocupación residencial debido a la búsqueda de un mejor nivel de vida. “Los valles orientales de Quito ofrecen un clima agradable, una altura menor, con viviendas individuales en medio de menor contaminación ambiental, proximidad a los ríos, etc...” (Destinos Ecuador , 2013).

Adicional a esto, se ha podido observar un fuerte desarrollo industrial en zonas aledañas al centro de la ciudad de Sangolquí. Entre las principales industrias se encuentran: la industria textil, alimentos y farmacéuticas que se han acentuado alrededor del valle. Esto ha ocasionado a su vez, según el gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui que los pequeños y mediados pueblos se hayan extendido en términos de urbanización.



Figura 4-16 Vulnerabilidad edad Superior a 65 años de edad: Fuente INCE 2013, DMPTQ.

A continuación, en la figura 4-18, se presenta el crecimiento intercensal de la población del cantón Rumiñahui. En este se puede apreciar, la rápida progresión que ha presentado este cantón desde el año 2001 hasta el 2010 con un incremento poblacional cerca del 30%. (Datos estadísticos obtenidos del Gobierno autónomo descentralizado del cantón Rumiñahui).



Figura 4-17 Vista panorámica del Valle de los Chillos. Fuente: Foto tomada por Serrano, 2006

4.6.4. Descripción de la situación de riesgo descrita por el municipio de Rumiñahui.

Este escenario corresponde a un evento similar a la última erupción grande del volcán de 1877, la cual es considerada como el “evento típico” de las más importantes erupciones históricas del Cotopaxi. Se trata de una erupción volcánica explosiva, caracterizada por una actividad volcánica, con emisiones importantes de cenizas que afectarían tanto a los alrededores del volcán como a amplias regiones del occidente del mismo. Se generarían flujos piroclásticos por el desbordamiento del cráter (proceso llamado “boiling over”), los cuales descenderían simultáneamente por varios o todos los flancos del volcán.

La ocurrencia de flujos piroclásticos daría lugar a la formación de flujos de lodo y escombros (lahares) de gran volumen, que producirían serios estragos en amplias zonas pobladas asentadas en las cercanías y a todo lo largo de los ríos Pita, Cutuchi y Tamboyacu, hasta por cientos de kilómetros aguas abajo, afectando a sectores como Latacunga, Sangolquí, San Rafael, Valle de los Chillos, Tumbaco entre otros...((Hall y Hillebrandt, 1988)),

Igualmente, son probables mayores acumulaciones de escoria y ceniza hasta de 40 - 50 cm de espesor sobre los flancos altos y de 5 - 10 cm en las áreas cercanas al occidente del volcán, así como acumulaciones de pocos milímetros de ceniza incluso en las provincias costeras de Guayas, Manabí y Esmeraldas. Durante la erupción del 26 de junio de 1877, se reportó que la zona de Tanicuchí (unos 30 km al suroeste del volcán) cayeron fragmentos de escoria del tamaño de un puño, mientras que en Guayaquil hubo leves lluvias de ceniza muy fina durante los tres días posteriores a la erupción (Wolf, 1878).

Finalmente, también es posible que ocurran coladas de lava andesítica. Sin embargo, por las características de las mismas, es poco probable que se extiendan más allá de los pies del cono, sobre cotas inferiores a los 3500 m. La historia geológica del volcán muestra que este escenario ocurre con mucha frecuencia, habiéndose producido en al menos 10 ocasiones en los últimos 2000 años, de las cuales las últimas cuatro corresponden a los años de 1742, 1744, 1768 y 1877.

Las últimas medidas del estado del glaciar del Cotopaxi realizadas por el IG EPN y el IRD. El casquete glaciar conoce una fuerte regresión, en particular su superficie la cual disminuyó en un 31 % entre 1976 y 1997. Según los estudios sobre el Nevado del Ruiz (Pierson y al., 90; Thouret, 90), la superficie del glaciar que puede estar expuesta a los flujos piroclásticos es el principal factor que condiciona el volumen de agua generada, origen de un lahar. El espesor de hielo es menos determinante. Así, los próximos lahares, para una erupción de intensidad igual a la de 1877, serían de menor amplitud.

Por otro lado, varios escenarios han sido reconocidos, exactamente 4. Para el primer escenario se esperan lahares de pequeño tamaño sin consecuencias para el Valle de Los Chillos. Correspondería a un nivel de base de una nueva fase eruptiva, desde la cual el volcán podría evolucionar hasta fases más explosivas que serían los escenarios 2, 3 y 4. Para el segundo escenario, los flujos piroclásticos podrían provocar lahares importantes, pero de menor amplitud en comparación a los de 1877 (50 %). La probabilidad de este evento, una vez que iniciado el proceso eruptivo (escenario 1), es estimado en 30 % (Samaniego y al., 2004). Su extensión no aparece sobre el mapa. El escenario 3 corresponde a la erupción de 1877, con una probabilidad de 10 %. El último escenario, el más explosivo y el más peligroso, corresponde a fases eruptivas prehistóricas. La última erupción de este tipo tiene más de 1000 años y se le ha asignado

un probabilidad de 10 %. La amplitud de los lahares provocados superaría la de los lahares históricos conocidos (entre los cuales los de 1877).

CAPÍTULO 5. - MODELACIÓN PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN

5.1. Antecedentes

En esta investigación se pretende formular un modelo de optimización con la finalidad de proponer un plan de evacuación, que ayude y sirva de guía de acción para la población localizada en el Valle de los Chillos, posiblemente afectada por el peligro latente de erupción del Volcán Cotopaxi y por la materialización de los lahares que atraviesan al cantón Rumiñahui. Para el modelo de optimización, se empleará programación lineal para determinar los recursos necesarios y tomar las mejores decisiones para elaborar la guía de prevención a la vez que satisfacer los objetivos específicos. El modelo que será formulado, es un modelo de programación lineal entera mixta, el cual se adecuó con los datos y las simulaciones realizadas por las Escuela Politécnica del Ejército con el apoyo de su infraestructura de datos espaciales geográficos.

El modelo considera dos criterios (costo y tiempo), las restricciones principales que se proponen en modelo son: Capacidad para los albergues, centros de distribución y rutas de evacuación, donde se pueda asegurar que todas las personas puedan llegar a alguno de los albergues disponibles en el menor tiempo posible.

5.2. Supuestos considerados para la modelación

Con el fin de elaborar un plan de prevención para la posible erupción del volcán Cotopaxi, se tomaron en cuenta diferentes factores que intervienen en el comportamiento del entorno al momento de plantear el modelo de evacuación. La solución al problema de optimización permite decidir cuáles serán las ubicaciones de los centros de distribución y albergues así como las rutas de evacuación para la población, con el fin de minimizar el tiempo de evacuación y el costo por las actividades asociadas

al plan de prevención. Como los costos asociados para distribuir suministros de ayuda humanitaria, costos de mantener a la gente en los albergues y la capacidad disponible.

En base a los escenarios geográficos y a las simulaciones de los lahares realizadas por la Escuela del Ejército, así como la información recopilada de las diferentes entidades gubernamentales, como la defensa Civil, la Secretaria Nacional de Riesgos y la Cruz Roja, se han establecido los siguientes supuestos que servirán para la elaboración del modelo de evacuación y el plan de prevención propuesto en este trabajo:

- El plan de prevención será determinado para cubrir las necesidades de la población para cuatro días, correspondientes al tiempo de duración de los kits de ayuda que se entregarían para cubrir las necesidades de una familia de cuatro personas, en promedio. Después de los cuatro días, la responsabilidad de la colocación de los insumos en los albergues pasa a manos de la Secretaria Nacional de Riesgos (SNR), la Defensa Civil y la Cruz Roja.
- Los insumos son colocados en los centros de distribución previamente a la inundación del lahar.
- Los insumos serán transportados por medio de camionetas tipo UNIMONG Mercedes Benz, propiedad de la protección civil, organización responsable de las actividades de emergencias ante desastres. Estos insumos son los que salen de los centros de distribución a los albergues determinados por el modelo.
- Se asume que el plan de evacuación tiene una duración de una hora, que corresponde a la duración promedio de evacuación de las zonas de mayor riesgo en el Valle de los Chillos.

- El punto de salida de la población que es evacuada de cada uno de los lugares afectados es el centroide de cada uno de estos.
- Las rutas de evacuación utilizadas se definen para cada par de origen – destino donde los orígenes corresponden a los centroides de los lugares afectados y los destinos son los albergues.
- Las personas que se verían afectadas ya conocen con previa antelación el lugar de los albergues a los que les corresponde movilizarle al momento de la evacuación.
- La capacidad de las rutas tienen la capacidad necesaria para realizar la distribución de la ayuda humanitaria.

5.3. Formulación

El primer paso para realizar la formulación del modelo de programación lineal entera (PLE), es construir y entender la Red de Distribución. A continuación, en la siguiente figura se muestra el diagrama de distribución con sus respectivos nodos. Los nodos simbolizados por el subíndice j representan los centros de distribución establecidos, mientras que los nodos con los subíndices k y g representan los albergues y las zonas afectadas respectivamente. Los centros de distribución abastecen a los albergues con la cantidad de kits necesaria para cubrir la demanda dependiendo del número de personas que llegan a los albergues provenientes de los lugares afectados por los lahares del Volcán Cotopaxi.

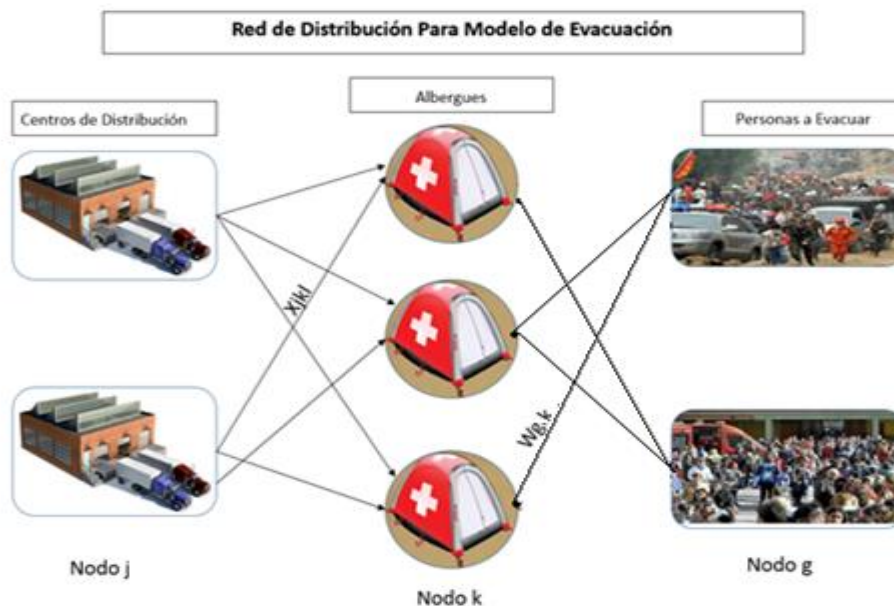


Figura 5-1 Representación del modelo de optimización de evacuación como un gráfico de Red. Fuente: Elaboración propia

El modelo que se pretende construir es de programación lineal entera que considera 2 criterios de optimización plasmados en las siguientes funciones objetivos:

(1) costo total, que incluye el costo total de apertura de albergues y centros de distribución, costo de aprovisionamiento, más el costo de transporte, ya sea para evacuar damnificados o trasladar kits de ayuda a los albergues y (2) tiempo total para desalojar a todos los individuos afectados por los lahares del volcán. Los parámetros, así como las funciones objetivos respectivamente se dan a continuación:

Conjuntos:

j- Conjunto de centros de distribución $j \in J$

k- Conjunto de albergues candidatos $k \in K$

g- Conjunto de zonas de riesgo $g \in G$

l- Conjunto de producto $l \in L$

Parámetros:

K_j : Capacidad del centro de distribución $j \in J$

F_j : Costo Fijo por abrir un centro de distribución $j \in J$

S_k : Capacidad del albergue $k \in K$

P_g : Población de la zona de riesgo $g \in G$

C_{jK} : Costo de enviar una tonelada desde el centro de distribución $j \in J$ al albergue $k \in K$

V_l : Costo de adquisición del producto $l \in L$

A_k : Costo por habilitar el albergue $k \in K$

α_l : Factor de conversión de paquetes dependiendo cada producto $l \in L$ (cuatro o 40 personas)

B: Porcentaje mínimo de personas para ubicar un albergue (10%)

γ : Porcentaje mínimo de volumen para utilizar un centro de distribución

T_{gk} : Tiempo de traslado esperado desde la zona de riesgo $g \in G$ hasta el albergue $k \in K$

Vol_l : Volumen del producto $l \in L$

Variables de decisión:

W_{gk} : Cantidad de personas que se desplazan desde los lugares de desastres $g \in G$ hasta los albergues $k \in K$

X_{jkl} : Cantidad de cajas del producto $l \in L$ hacer envidadas desde el centro de distribución $j \in J$ al albergue $k \in K$

$$Y_k = \begin{cases} 1, & \text{si el albergues } k \in K \text{ se abre} \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$\varphi_j = \begin{cases} 1, & \text{si centro de distribución } j \in J \text{ se abre} \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$M_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{si el centro de distribución } j \in J \text{ atiende al albergue } k \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Funciones Objetivo

$$\text{Min} \sum_j F_j \varphi_j + \sum_j \sum_k C_{jk} \sum_l X_{jkl} \text{vol}_l + \sum_k Y_k A_k \quad (1)$$

$$\text{Min} \sum_g \sum_k W_{gk} T_{gk} \quad (2)$$

Las funciones objetivo se encuentran sujetas a las siguientes restricciones:

$$\sum_k \sum_l \text{vol}_l X_{jkl} \leq K_j \varphi_j \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_k \sum_l \text{vol}_l X_{jkl} \geq \gamma K_j \varphi_j \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$\sum_g W_{gk} \leq S_k Y_k \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_g W_{gk} \geq \beta S_k Y_k \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_k W_{gk} = P_g \quad \forall g \in G \quad (7)$$

$$\sum_g W_{gk} \leq \alpha_1 \sum_j X_{jkl} \quad \forall k \in K, l \in L \quad (8)$$

$$\sum_j M_{jk} \leq Y_k \quad \forall k \in K \quad (9)$$

$$\sum_l X_{jkl} \leq M_{jk\mu} \quad \forall k \in K, l \in L \quad (10)$$

$$W_{gk} \geq 0 \text{ entera} \quad \forall g \in G, k \in K, \quad (11)$$

$$X_{jkl} \geq 0 \text{ entera} \quad \forall j \in J, k \in K, l \in L \quad (12)$$

$$\varphi_j, Y_k, M_{jk} \in (0,1) \quad \forall j \in J, k \in K \quad (13)$$

5.3.1. Explicación de las funciones objetivo

Función Objetivo (1)

Minimizar el costo que se tendrá por realizar las diferentes actividades como enviar producto desde los centros de distribución a los albergues; utilizar las instalaciones que se ocuparán como centros de distribución; los costos que se tienen al utilizar las vías de comunicación ya sea para evacuar a los damnificados o para transportar los suministros a los albergues establecidos.

Función Objetivo (2)

Minimizar el tiempo evacuación de las personas desde las zonas de peligro hasta los albergues de la zona.

5.3.2. Explicación de las restricciones

Restricciones

- (3).- La restricción (3) establece la decisión de cuántos y cuáles centros de distribución se debe ubicar para enfrentar la situación en el caso de una posible erupción del volcán Cotopaxi, así como la decisión de qué cantidad deberá ser enviada a los diferentes albergues, considerando la capacidad de cada centros de distribución.
- (4).- La restricción (4) sirve para asegurar que no se abra un centro de distribución a menos que se distribuya la cantidad equivalente al **diez por ciento** de su capacidad.
- (5).- En la ecuación (5), representa la restricción de capacidad de un albergue, esto quiere decir que la demanda que llega a los diferentes albergues de cada uno de las zonas de riesgo no deba exceder la capacidad con la que cuenta un albergue.
- (6) La restricción (6), se asegura que una instalación puede ser considerada como albergue si cumple con el requerimiento mínimo del número de personas

que utilizarán estas instalaciones como sitios seguros en caso de la erupción del volcán, en este caso el requisito es utilizar **el diez por ciento** de la capacidad del albergue.

- (7) La ecuación (7), asegura que la población afectada de las diferentes zonas de riesgo se dirija a hacia un albergue.
- (8) La ecuación (8), representa el número de kits necesarios para que la población pueda sobrevivir. Esto se realiza por medio de una transformación, la cual consiste en multiplicar la cantidad de cajas necesarias por el factor de conversión, que en este caso es de cuatro personas (kits de aseo personal, abrigo y despensas) y uno adicional de 40 personas (kits de medicina) para satisfacer los requerimientos del albergue.
- (9) La restricción (9), restringe la posibilidad de que un albergue reciba producto de más de un centro de distribución, esto quiere decir que un albergue recibe producto de un único centro.
- (10) La función de restricción (10) se basa en la asignación de los centros de distribución a los albergues, a través de la existencia de flujo entre este par de nodos.
- Finalmente, las restricciones (11) y (12) determinan la no negatividad de las variables y especifican que las variables W_{gk} y X_{jkl} sean enteras, mientras que la restricción (13) representa la nomenclatura binaria.

5.3.3. Decisiones resultantes del modelo

Una vez resuelto el modelo de optimización, se podrá tomar las siguientes decisiones en relación a la elaboración un plan de prevención óptimo de acuerdo a una inundación, fruto de los lahares que descenderían por los ríos que atraviesan el cantón Rumiñahui.

1. Cantidad de cada producto a ser distribuido desde los centros de distribución a los albergues seleccionados.
2. Número de personas a ser evacuadas desde las distintas zonas de riesgo hacia los albergues a pie.
3. Los albergues que serán habilitados.
4. Los centros de distribución que serán utilizados para distribuir a determinados albergues.

El modelo propuesto fue realizado con datos obtenidos mediante estudios geográficos, entrevistas a expertos y múltiples visitas a la zona de estudio y sus alrededores. De esta manera se logró identificar las áreas más afectadas, sitios seguros, capacidades/necesidades de los albergues y cantidad de población afectada en las diferentes zonas, para poder realizar un plan de prevención.

5.4. Información de entrada para la realización del modelo

Para realizar el modelo de optimización fue necesario evaluar diferentes aspectos e información que es indispensable para la elaboración del mismo. Para ello, fue necesario realizar varias visitas a las zonas de estudio y entrevistar a personas que forman parte de las autoridades y organizaciones involucradas que deben actuar de manera conjunta en caso de una posible erupción del volcán Cotopaxi.

La información que se requiere es muy importante para la modelación del problema y el entendimiento del plan de prevención. A continuación se enlista la información que fue necesaria determinar para la realización del modelo, y se irá describiendo uno por uno a detalle en que consiste y como se relaciona con el plan de prevención.

- Localización e identificación de las diferentes zonas de riesgo.
- Determinación de todos los posibles albergues y puntos seguros.
- Localización de los posibles albergues determinados.
- Localización de todos los posibles centros de distribución.
- Determinación de la capacidad de alojamiento de los albergues.
- Determinación de la capacidad de aprovisionamiento de los diferentes centros de distribución.
- Tiempo de evacuación en función de la distancia de las zonas de riesgo a los albergues.
- Estimación de la cantidad de personas afectadas en cada diferente zona de riesgo.
- Costo por enviar una tonelada desde el centro de distribución.
- Costo fijo por abrir un centro de distribución.
- Costo fijo por habilitar un albergue.
- Costo de adquisición del producto.
- Volumen del producto.

5.4.1. Localización e identificación de las zonas de riesgo

Para determinar este parámetro de entrada del modelo de optimización, se utilizó la información de diferentes estudios realizados por el municipio de Rumiñahui en colaboración con la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE). En el anexo 4, se

presenta el mapa de peligrosidad por los flujos del lodo del volcán sobre la cartografía del cantón Rumiñahui realizado por la ESPE.

Gracias al estudio de diferentes geólogos, como los realizados por Aguilera & Toulkeridis (2006), el departamento de riesgos y catastros de la municipalidad del cantón Rumiñahi, ha podido determinar ocho zonas con alto riesgo de peligrosidad en el cantón. Dichos estudios, han servido como guía para poder implementar planes de acción. El último informe sobre el plan de contingencia del canton Rumiñahui, fue realizado por el departamiento de gestion de riesgos en el año 2013. Gran parte de la información que será tomada para la realización de este estudio hace referencia al Plan de Contingencia del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Municipalidad de Rumiñahui, (2013). En el siguiente esquema, se presenta una ilustracion del cantón Rumiñahui, junto con las ocho zonas de riesgo identificadas.

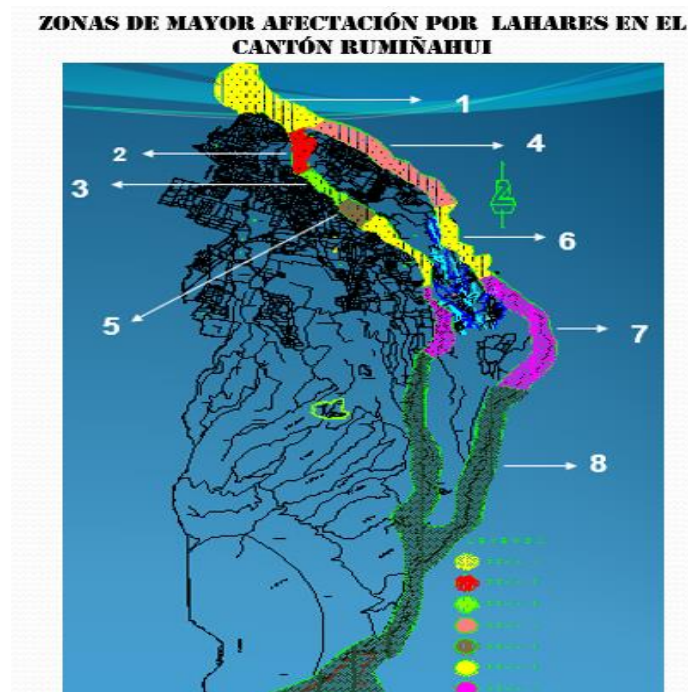


Figura 5-2 Zonas de afectación por los flujos de lodo del Volcán Cotopaxi. Fuente: Plan de Contingencia del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Municipalidad de Rumiñahui, 2013).

Como se puede ver en la *figura 5. 4-1*, existen ocho zonas de riesgo identificadas en el canton Rumiñahui, las mismas que se encuentran indentificadas por diferentes colores.

Sin embargo, el presente estudio no tomará en consideración todas las ocho zonas de riesgos identificadas anteriormente, debido a que el estudio esta enfocado en zonas especificas determinadas por: (1) la cantidad de la población afectada y (2) la disponibilidad de red vial hacia los albergues de las zonas afectadas. Esto es debido a que, al ser un modelo que utiliza red vial como rutas de evacuación, es indispensable contar con ella. Las zonas seleccionadas en funcion de estos dos parametros fueron: Zona 1 , Zona 2, Zona 3, Zona 5 y Zona 6.

- **Cantidad de población afectada.-**

Para determinar cuales de las zonas de afectación serán consideradas en el modelo, se realizo un diagrama de pareto, para identificar cuales de todas las zonas tiene la mayor probabilidad de afectación, en relación a la densidad poblacional de la zona. Los datos para realizar este análisis, fueron obtenidos del Plan de Contingencia del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Municipalidad de Rumiñahui, (2013), los mismos, toman en consideración a la poblacion afectada como solo aquellas personas que podrán perder su vivienda e inclusive la vida al momento de una catastrofe.

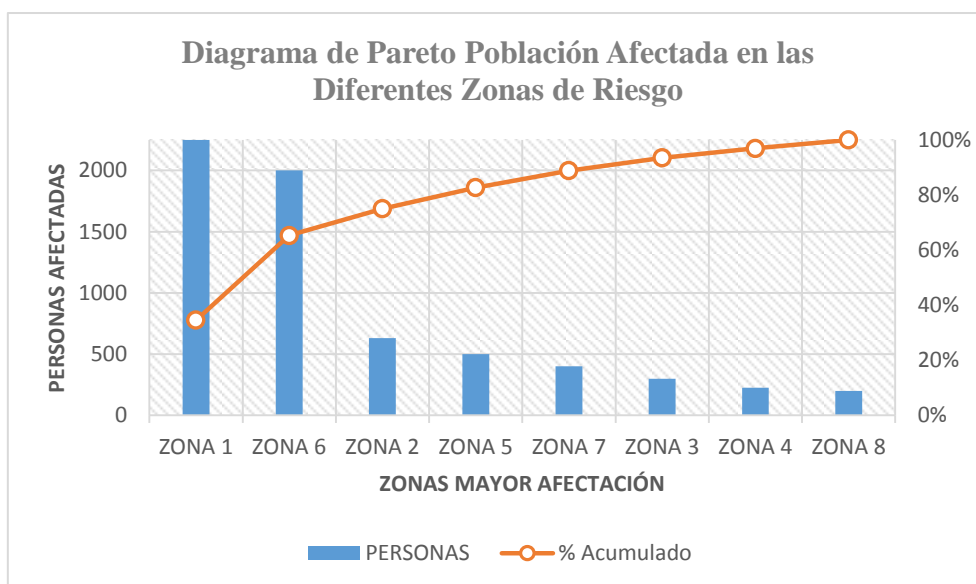


Figura 5-3 Diagrama de Pareto Población Afectada en las diferentes zonas de Riesgo. Fuente elaboración Propia

Como se puede ver en la *figura 5.4-2*. El 80% de la población mayormente afectada se ve representada por el 20 % de las zonas de afectación que están constituidas por las zona 1, la zona 6 la zona 2 y la zona 5. Esto quiere decir que las zonas mencionadas anteriormente son las zonas que cuentan con mayor necesidad de alojamiento, dado que son las más propensas a perder su vivienda.

- **Disponibilidad de Red Vial hacia los albergues.**

Dado que el modelo propuesto es un modelo de evacuación y distribución mediante red vial, es indispensable contar con vías de acceso para poder distribuir los suministros a los albergues. Por ello bajo esta premisa, se considerará las zonas de mayor afectación que puedan evacuar a lugares seguros en donde la red vial para la distribución no se vea afectada. Este factor también se toma en consideración para el modelamiento, dando como resultado las siguientes zonas de riesgo zona 1, la zona 6 la zona 2 la zona 5 y zona 3, agregando la zona 3.

Zona de Riesgo 1.

En el gráfico mostrado a continuación, se presenta la zona de riesgo 1, con las diferentes urbanizaciones, colegios u hospitales que se encuentran en dicha zona. Como se puede apreciar, la zona 1 está constituida por ocho zonas de riesgo. Las vías principales para la evacuación de los sectores afectados en la zona de riesgo 1 son: **Av. Ilaló, calle Avelina Lasso, Av. Mariana de Jesús calle Josefina Barba y calle Los Laureles.** Esta información fue obtenida gracias al apoyo de la municipalidad del **cantón Rumiñahui.** De la misma forma se presentarán las demás zonas de riesgo que forman parte del estudio.

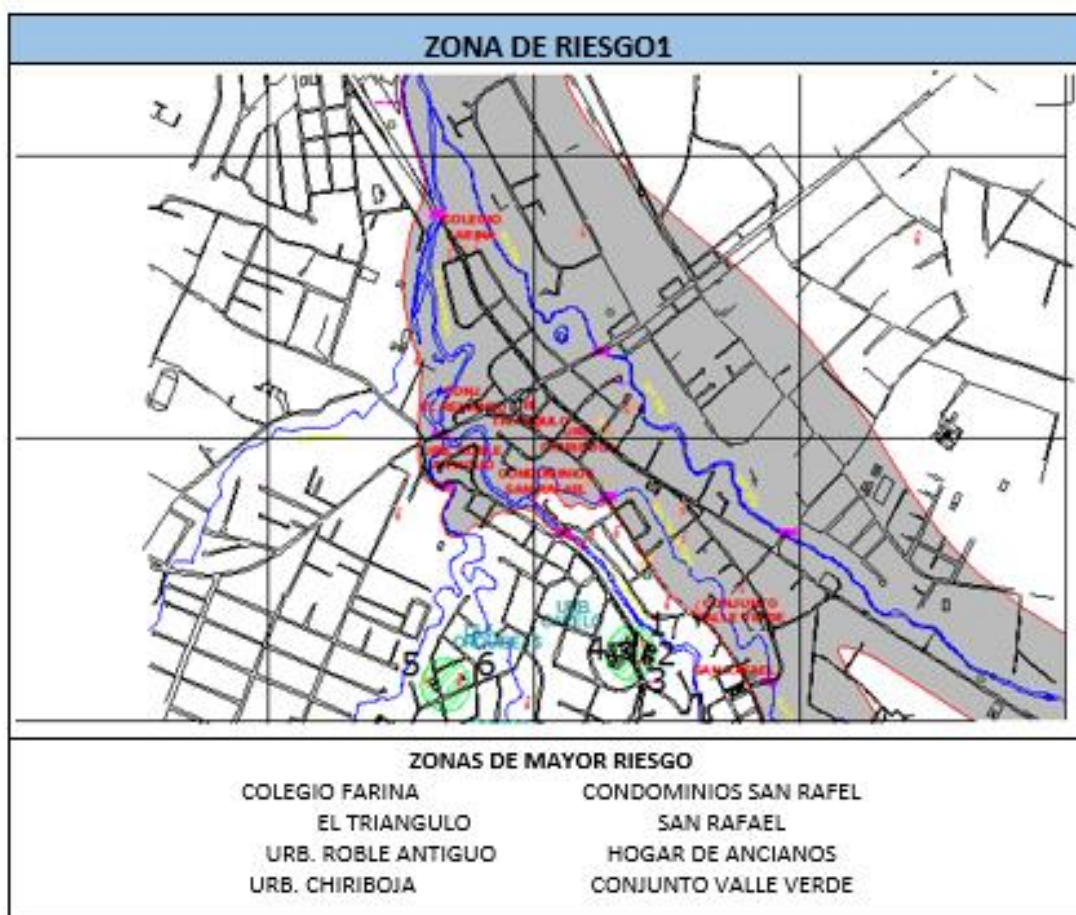


Figura 5-4 Zona de Riesgo1 frente a los lahares del Volcán Cotopaxi. Fuente: Arquitecto Patricio Sosa, 2013

Zona de Riesgo 2

En el gráfico mostrado a continuación, se presenta la zona de riesgo 2, con las diferentes urbanizaciones, colegios u hospitales que se encuentran en dicha zona. Como se puede apreciar, la zona 2 está constituida por siete zonas de riesgo. Las vías principales para la evacuación de los sectores afectados en la zona de riesgo 2 son:

Bahía de Caráquez, General Dávalos, Febres Cordero, calle cazadores de Los Ríos, calle Yaguachi, Grupo Teniente Ortiz, Av. Gral. Enríquez, Av. Luis Cordero, calle Leopoldo Mercado, España, Olmedo y Bolívar.

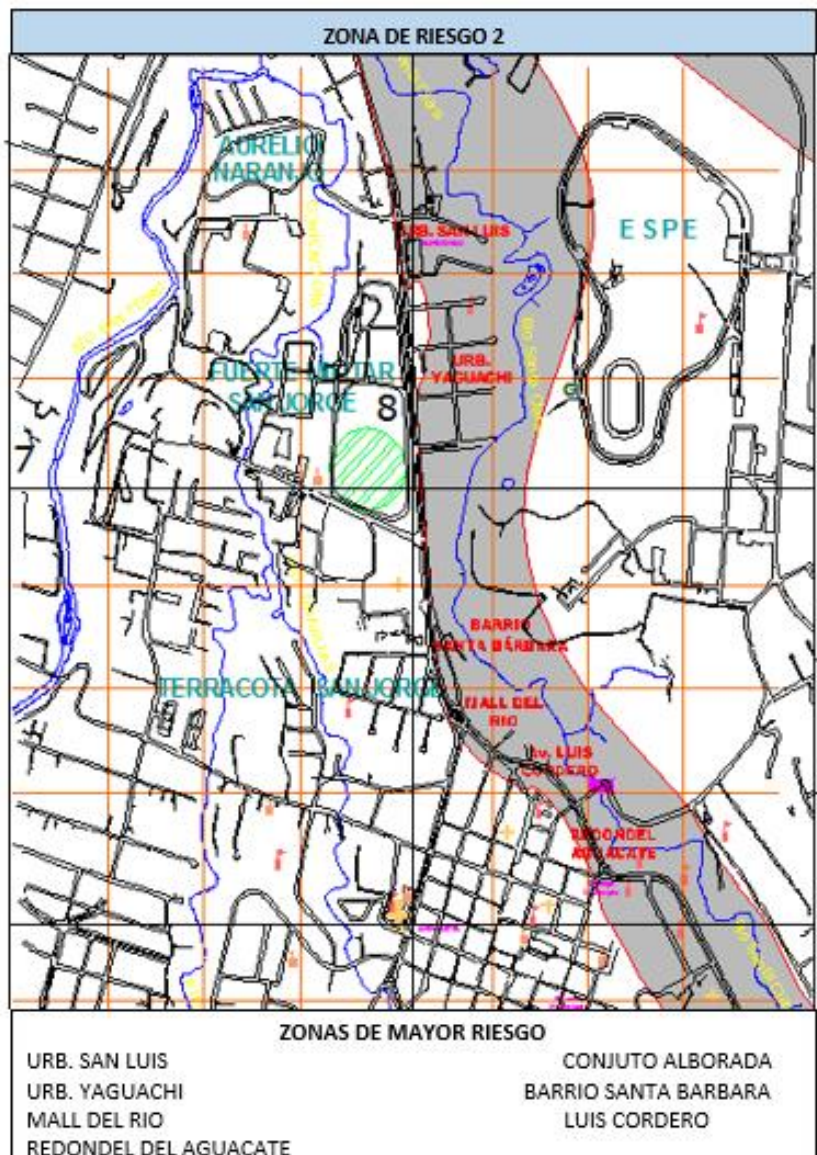


Figura 5-5 Zona de riesgo 2 frente a los lahares del Volcán Cotopaxi. Fuente Arquitecto Patricio Sosa, 2013.

Zona de riesgo 3

De igual manera, que la zona de riesgo 1 y 2, a continuación se presenta el mapa de la zona de riesgo 3, con las diferentes urbanizaciones, colegios u hospitales que se encuentran en dicha zona. Como se puede apreciar, la zona 3 está constituida por siete zonas de riesgo. Las vías principales para la evacuación de los sectores afectados en la zona de riesgo 3 son: **Av. Luis Cordero, calle Quito Av., Abdón Calderón y calle Zopazapanqui.**

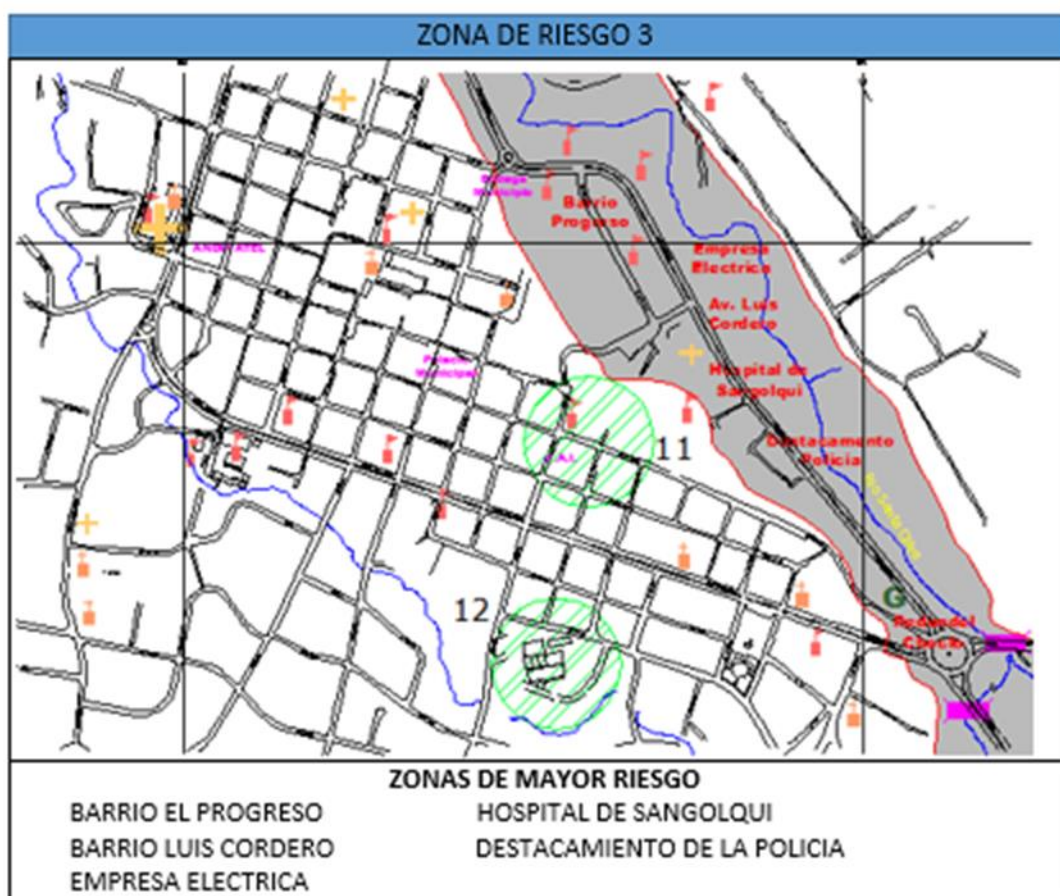


Figura 5-6 Zona de riesgo 3 frente a los lahares del Volcán Cotopaxi. Fuente: Arquitecto Patricio Sosa, 2013

Zona de riesgo 5

En el gráfico mostrado a continuación, se presenta la zona de riesgo 5, con las diferentes urbanizaciones, colegios u hospitales que se encuentran en dicha zona. Como se puede apreciar, la zona 5 está constituida por cinco zonas de riesgo. Las vías principales para la evacuación de los sectores afectados en la zona de riesgo 5 son: **Av. Juan de Salinas, calles los Abetos, la Florida, la Alborada, los Esteros, los Manglares y la Av. Atahualpa.**

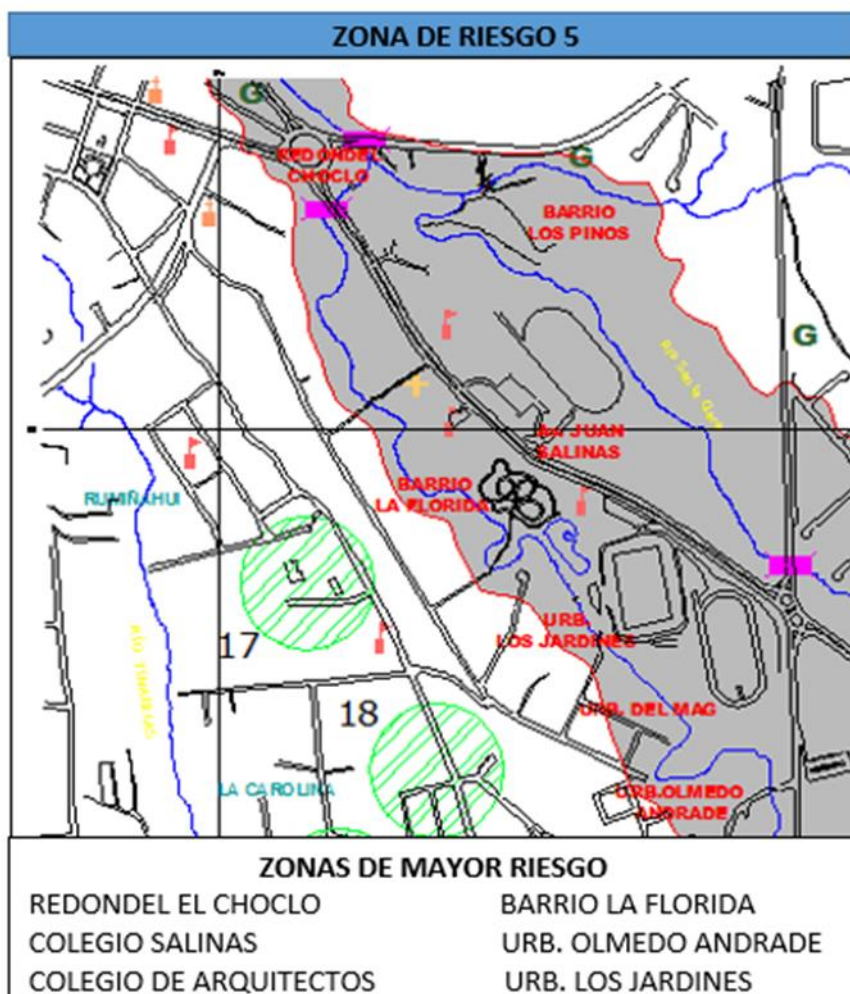


Figura 5-7 Zona de riesgo5 frente a los lahares del volcán Cotopaxi. Fuente Arquitecto Patricio Sosa, 2013

Zona de riesgo 6

Finalmente, en el gráfico mostrado a continuación se presenta la zona de riesgo 6, con las diferentes urbanizaciones, colegios u hospitales. Como se puede apreciar, la zona 6 está constituida por cinco zonas de riesgo. Las vías principales para la evacuación de los sectores afectados en la zona de riesgo 5 son: **Calles Selva Alegre, Nicolás Peña, Mariano Ortega, Ramón González Artigas, Av. Francisco Guardaras, calle Juan Larrea, Av. Juan de Salinas, calle Castelos, Calle Juan Morales.**

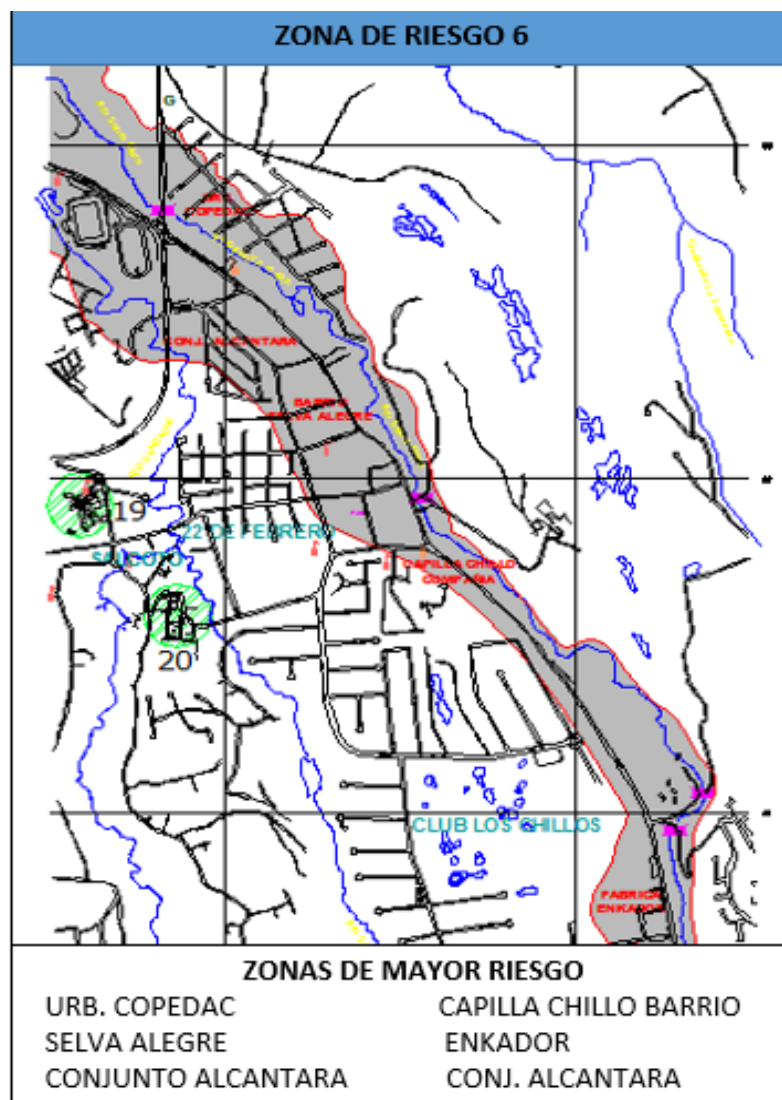


Figura 5-8 Zona de Riesgo 6 frente a los lahares del Volcán Cotopaxi. Fuente: Arquitecto Patricio Sosa, 2013

Los mapas presentados anteriormente, fueron obtenidos gracias al apoyo de la municipalidad del cantón Rumiñahui, especialmente por parte de la Dirección de Riesgos y Catastros de dicho cantón. Estudios posteriores, como por ejemplo los realizados por Aguilera & Toulkeridis, (2006), han permitido identificar estas zonas de riesgo frente a los flujos laháricos del volcán Cotopaxi a través de un modelo de simulación, que simula como sería un escenario eruptivo, tomando como referencia estudios y hallazgos pasados de rastros de material lahárico que dejaron erupciones pasadas, como la ocurrida el 26 de junio de 1877. En el anexo 5, se presenta un resumen con todas las zonas de riesgo seleccionadas para este estudio junto con los barrios, escuelas, hospitales, conjuntos etc. que serán afectados.

5.4.2. Localización de todos los posibles albergues y puntos seguros

Los albergues son de vital importancia ya que las personas que resulten afectadas por la erupción del Volcán Cotopaxi, tendrán que asistir a ellos para que se encuentren en una zona segura. Un factor importante que se tiene que considerar es la cantidad de insumos requeridos en cada albergue, para que se cubran satisfactoriamente las necesidades de abrigo y alimento de los damnificados durante el tiempo que se presente la contingencia. (Proyecto Esfera, 2004). Es de gran importancia que en los albergues se pueda dar hospedaje adecuado a la población que resultó afectada y perdió una vivienda producto de los lahares. Las características que deben tener los albergues para elaborar un plan de contingencia por parte del estado, han sido determinadas por la Cruz Roja, Proyecto Esfera (2004), el Ministerio de inclusión social (MIES) y son las siguientes:

- Deben ubicarse fuera de la zona principal que resultó afectada.
- Deben contar con los servicios mínimos de agua y luz.

- Contar con espacio suficiente para ofrecer los servicios a las personas hospedadas.
- Deben situarse en lugares de fácil acceso, así como contar con suficientes sistemas de comunicación externa.
- Deben contar con servicios sanitarios.
- Contar con áreas de esparcimiento.

Además de estas características, se debe tomar en cuenta la condición en que vivirán las personas, en este aspecto, el proyecto Esfera, (2004), enumera una serie de recomendaciones para el establecimiento de los albergues, las cuales se resumen en la tabla 4 presentada a continuación.

Tabla 4 Características de los albergues y sitios seguros. Fuente: Proyecto Esfera, 2004

<u>Tipo</u>	<u>Característica</u>	<u>Requerimientos</u>
Condiciones	Superficie mínima de piso por persona	3,5 m ²
	Volumen mínimo de aire por persona	10
	Distancia mínima entre las camas	0,75 m
Aseo Personal	Lavamanos	1 por cada 10 personas
	Ducha	1 por cada 30 personas
	Sectores separados para hombre y mujeres	
Retretes	Un Asiento por cada 25 mujeres	
	Un Asiento y un Mingitorio por cada 35 hombres	
	Distancia mínima del edificio	50m

5.4.3. Localización de los posibles albergues determinados

Tomando en cuenta las características que deberá tener un albergue se pudo elegir, las posibles edificaciones que podrán funcionar como albergues, además de los ya determinados por la municipalidad del cantón Rumiñahui, que serán indispensables para afrontar la demanda frente a una erupción volcánica. Se realizó la identificación de más sitios seguros debido a que se consideró el crecimiento poblacional de los últimos 10 años del cantón, a fin de suplir con las necesidades de alojamiento de las zonas. Las instalaciones elegidas en el cantón Rumiñahui fueron escuelas, iglesias y localidades públicas.

Según, el Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio de Rumiñahui (GADMUR), en su informe Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial, (2014), se encontraron cerca de 21 posibles instalaciones, considerando, las determinadas tanto por la municipalidad del cantón como las identificadas en base a las características y condiciones mencionadas en el (Proyecto Esfera, 2004). Éstas se estudiaron por medio de Google Earth, (google earth, 2013). Mediante el uso de esta herramienta, se pudo localizar el terreno de los albergues, así como también el área de la edificación mediante imágenes satelitales. En el *mapa 5.2.2.1-1* se presenta un abstracto de la localización de algunos de los albergues localizados dentro de la zona.

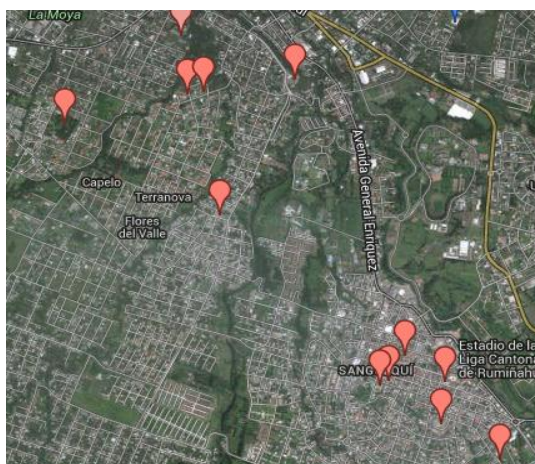


Figura 5-9 Localización de albergues en el cantón Rumiñahui. Fuente de elaboración propia

Mediante la aproximación de las imágenes satelitales, también se pudo identificar la infraestructura de las instalaciones, para verificar que durante el recorrido por las zonas, los albergues identificados hagan sentido con la ubicación geográfica dada por Google Earth. A continuación se presenta uno de los puntos localizados, desde una perspectiva satelital, junto con una fotografía tomada en los recorridos por la zona. Este procedimiento se realizó para corroborar que efectivamente todos los albergues localizados correspondan a la ubicación geográfica.



Figura 5-10 Imagen satelital y Fotografía de la Iglesia central de Sangolquí. Fuente de elaboración propia

5.4.4. Determinación de la capacidad de los albergues

A fin de poder calcular las capacidades de los posibles albergues de los cuales no se dispone el dato de la capacidad de alojamiento, se realizó la siguiente distribución del área, tal como se sugiere en las normativas establecidas por el Proyecto Esfera, (2004). Del área total de instalación, se sugiere que el 65% del área sea destinada para alojamiento, tomando en cuenta un espacio de $3,5m^2$ por persona del mismo. Adicional a esto, la normativa propone que se designe el 20 % del área total para áreas comunes, 5 % a pasillos y 10 % del área para zona de almacenamiento de insumos. En el siguiente esquema se presenta la distribución en porcentaje de las áreas sugeridas.

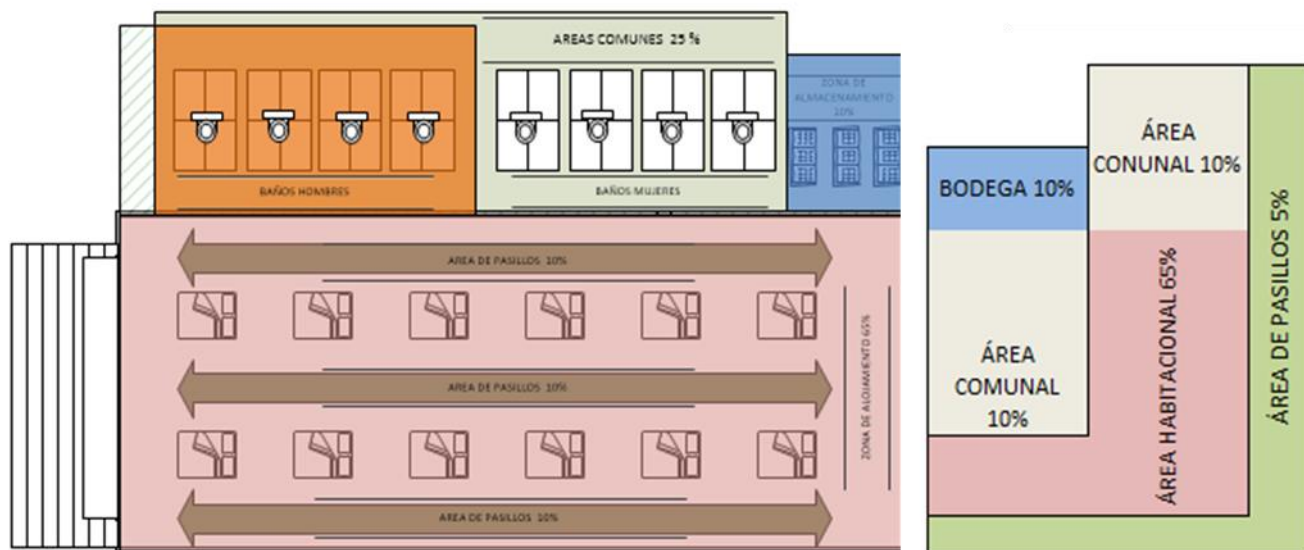


Figure 5-11 Distribución del área de las instalaciones: Fuente Elaboración propia

Para calcular la capacidad de alojamiento de todos aquellos albergues identificados que podrían servir como albergues temporales, además de los que ya se han identificado por la municipalidad cantón Rumiñahui, se realizó el siguiente procedimiento presentado a continuación:

1. Determinación del área total de las instalaciones:

En primer lugar se determinó el área total de los albergues seleccionados. Para ello, se ingresó en la página web de la municipalidad del cantón Rumiñahui para determinar el área de los predios mediante la opción en línea de avalúo de predios y catastros.

2. Cálculo del área habitacional:

Para calcular el área que podrá ser destinada para la zona de alojamiento se realizó el siguiente cálculo:

$$\text{Área total } m^2 = \text{Área de alojamiento } m^2 * 0,65$$

$$\text{Área de alojamiento } m^2 = \frac{\text{Área total } m^2}{0,65}$$

3. Cálculo de la capacidad de alojamiento de los albergues:

Finalmente, para el cálculo de la capacidad de alojamiento de los albergues se utilizó la relación que sugiere la normativa del proyecto Esfera de considerar un área de $3,5 \text{ m}^2$ por persona. A continuación se presenta la forma de cálculo de la capacidad de alojamiento:

$$\text{Capacidad de alojamiento albergues} = \text{Área de alojamiento } \text{m}^2 * \frac{1 \text{ persona}}{3,5 \text{ m}^2}$$

En la siguiente tabla se presenta las capacidades de alojamiento de los posibles albergues identificados que podrían servir para satisfacer las necesidades de la demanda al momento de una erupción del volcán Cotopaxi.

Tabla 5 Capacidades de los albergues identificados. Fuente: Elaboración propia

Capacidad de alojamiento de los posibles albergues			
Albergues Propuestos	Capacidad Personas	Área Total metros²	Área Habitacional metros²
Colegio Lev Vigotsky	60	323,1	210
Colegio Telmo Hidalgo	210	1130,8	735
Villa Carmen	85	457,7	297,5
Hostería Sumer Garden	40	215,4	140
Iglesia Cristiana Triangulo	150	807,7	525

De esta forma se puede calcular la capacidad de alojamiento de las posibles instalaciones mencionadas anteriormente, en la *tabla 5 capacidades de los albergues identificados*. Esto, con el fin de lograr tener un plan de emergencia que sea suficientemente capaz de suplir con las necesidades demandas por la población afectada.

5.4.5. Costo por enviar una tonelada desde el centro de distribución a los albergues y costos de operación

Costos de operación.

Con el fin de entregar las provisiones apropiadas, en buenas condiciones y en las cantidades necesarias, en el lugar y momento que son requeridos, es necesario realizar un procedimiento en el que se calculen los costos que representan la manipulación, envío, utilización y entrega de los insumos.

Costos de transporte.

El transporte es el componente de la cadena logística necesario para que los insumos lleguen al lugar adecuado, en este caso los albergues. Para definir los costos, se requiere especificar cuáles son los recursos y alternativas reales con las que se cuentan para que los suministros, no solo sean entregados, sino también para que lleguen de manera pronta y segura durante una situación de emergencia.

Dentro de la logística humanitaria existen diferentes formas de transporte para distribuir los suministros en el caso de una emergencia. Sin embargo, en el caso de una erupción volcánica, el transporte de los insumos, solo puede ser realizado por medios de transporte terrestre. Esto es debido a que, las condiciones de visibilidad a causa de la ceniza dificultarían en gran medida la distribución o la ayuda mediante medios de transporte aéreo tales como; helicópteros, avionetas, jets o vehículos aéreos no tripulados (Drones).

Según Padilla,(2014), ingeniero geólogo y catedrático de la ESPE, en la entrevista realizada respecto a las amenazas del volcán Cotopaxi en el Valle de los Chillos, una de las principales dificultades al momento de brindar ayuda, en la fase post desastre, va hacer el agravante de la ceniza. Padilla comentaba, que la cantidad de ceniza que caería sobre la ciudad, sería capaz de cubrir la las calles de la ciudad del cantón Rumiñahui con 1 a 1,50 metros de altura, dificultado no solo la movilidad

terrestre si no también la visibilidad de los transeúntes y todo tipo de intento de ayuda por algún medio aéreo.

Por ello, para que los insumos necesarios sean trasladados desde los centros de distribución hacia los albergues, se deberá considerar los recursos terrestres que se tienen disponibles. Para esta actividad, la Secretaria Nacional de Riesgo (SNR) cuenta con medios de transporte que se utilizarán para realizar los viajes necesarios desde los centros de distribución a los diferentes albergues dependiendo de la asignación. Para el transporte de los insumos se tomó, en base a lo mencionado por (Rosero, 2014), Director Provincial de la Secretaria Nacional de Riesgos en la entrevista realizada, que se utilizarán los vehículos disponibles tipo Mercedes Benz 1300 UNIMOG que dispone la (SNR.). Este recurso de transporte cuenta de un motor diésel de 6 cilindros, el cual dispone de una capacidad de carga de 2,5 toneladas métricas. Este vehículo cuenta con un rendimiento de 19,5 litros de combustible diésel por cada 100 kilómetros (Mercedez Benz , 2014).

Por otro lado, según mencionaba Rosero (2014) el apoyo de las fuerzas armadas del Ecuador será proporcionado, en caso que ellos lo requieran para colocar los suministros o movilizar heridos y personas de las zonas de riesgos a sitios seguros. El equipo terrestre con el que cuenta el ejército ecuatoriano con el cual apoyará a la sociedad, es muy similar a los vehículos con los que cuenta la Secretaria Nacional de Riesgos. A continuación se presenta las características de los recursos de transporte:

Tabla 6 Especificaciones de los vehículos disponibles para la ayuda humanitaria de las poblaciones de emergencia. Elaboración propia

Especificaciones de los Vehículos disponibles para ayudar a las poblaciones de emergencia	
Capacidad de Carga	2,5 Toneladas
Autonomía en Kilómetros	900 Km
Consumo de Combustible	19,7 Litros C/d 100 kilómetros
Velocidad Promedio	60 Km/ Hora
Dimensiones	5,29 L, 2,33 W 2,83 H
Potencia	130 HP a 2800 rpm
Transmisión Hidráulica	Si
Peso Lleno	7500 Kilogramos
Peso Vacío	5250 Kilogramos



Costos por enviar los productos desde los centros de distribución a los albergues

Para poder transportar los suministros de ayuda humanitaria, desde los centros de distribución a los diferentes albergues, se consideraron los camiones de la (SNR), y los de las fuerzas armadas (Camiones tipo Unimog 1300), los cuales tienen motor que funciona en base al combustible diésel. Así mismo, conociendo el consumo de los camiones que es 19,5 litros de diésel por cada 100 kilómetros, se pudo calcular un consumo de 0.195 litros por kilómetro. De la misma manera, se obtuvo que el precio del diésel es de 0,2592 ctv de dólar por cada litro (Petro Ecuador , 2014). Finalmente realizando los respectivos cálculos, se obtuvo un costo **de 0,0505 ctv de dólar por cada kilómetro recorrido**. De esta manera se pudo obtener el costo de transportar los suministros, el mismo que va en función de la distancia.

Costo de carga del flete.

Para determinar la tarifa de transporte de carga, de una tonelada de suministros que será enviada de Quito, al Valle de los Chillos, se averiguó a diferentes operadoras logísticas y empresas de transporte. Entre ellas se destacan: DHL, Golden Move y Expert on Moving. Mediante las averiguaciones y la entrevista realizada con Pacheco, (2014), encargado del servicio al cliente de DHL, *Global Forwarding* en Ecuador, se

pudo determinar que en promedio, el costo de carga de una tonelada para enviar productos de Quito al Valle de los Chillos varía de **85 a 90 dólares** el flete. Asumiendo, que existe una distancia desde la bodega de DHL hasta el Valle de los Chillos de 22.7 km estimado mediante la utilización de Google Earth), se puede concluir que el costo promedio de distribución desde el centroide de la bodega de DHL, a la zona de estudio es de 3,85 dólares/Kilometro.

Finalmente, para calcular el costo de transportar los suministros desde los centros de distribución a los albergues, se reduce a la siguiente expresión:

$$\text{Tarifa de Transporte} = (\text{Costos Fijos}) + (\text{Costos Variables})$$

Donde:

Los costos fijos son:

- Costo en promedio de enviar una tonelada de suministro

Los costos Variables son:

- El precio del combustible diésel, el cual puede fluctuar y escasear debido a la situación de emergencia.
- El costo va en función de la distancia, tal como se estimó en la entrevista con Pachecho, (2014)

5.4.6. Cantidad de volumen de producto

Se entiende como suministros humanitarios o de emergencia, a “aquellos productos, materiales y equipos utilizados por las organizaciones para la atención de los desastres, así como los requeridos para la atención de las necesidades de la población afectada” Organización Mundial de la Salud (OMS), (2000). Cuando una sociedad entra en declaratoria de emergencia, estos suministros humanitarios son vitales para poder salvaguardar la vida de la sociedad en peligro y al menos subsanar la calidad de vida de las personas a pesar de la situación en la que se encuentran.

Los suministros de ayuda humanitaria son de una amplísima gama, estos incluyen, desde los productos y materiales para uso y consumo de la población, tales como los medicamentos, los productos alimentarios, artículos de limpieza, vestimentas, etc. hasta aquellos requeridos por las organizaciones para brindar la asistencia, tales como los, equipos de rescate, materiales de construcción, herramientas OMS (2000) . Por ello, la organización Panamericana de la Salud, ha categorizado los suministros en kits con varios productos que permiten a las personas realizar sus actividades cotidianas.

Los kits de ayuda humanitaria que deberán ser considerados en caso de una erupción volcánica se clasifican de la siguiente manera:



Figura 5-11 Clasificación de suministros humanitarios. Fuente: Elaboración Propia

Estos kits se forman con diferentes productos dependiendo del tipo de necesidad que se pretende satisfacer. Según, la OMS (2000), el manual logístico de suministros humanitarios, el peso y volumen de cada kit, debe ser uno que pueda ser manipulado por una sola persona, idealmente el peso de los bultos debe estar entre unos 25 y 50 kg. Adicionalmente, se tiene que considerar que un kit debe abastecer a cuatro personas, y que el tiempo de consumo de cuatro días. A continuación se describen las características de cada kit.

a. Despensas.-

En caso de un terremoto, huracán, tormenta de invierno u otra catástrofe, por lo general no hay disponibilidad de ciertos servicios básico como, agua y electricidad durante días, e inclusive semanas. Esto muchas veces imposibilita el fácil acceso para adquirir alimentos (Cruz Roja Americana, 2004). Por ello, contar con alimentos y la provisión de los mismos es un tema indispensable cuando se presenta un desastre, para evitar la desesperación y sufrimiento por conseguir los mismos.

En el Ecuador, la SNR (2014) y el Centro Logístico de Asistencia Humanitaria (CELAH), son las organizaciones encargadas de elaborar y colocar las despensas en los albergues activos en temporadas de desastres, los cuales sirven para satisfacer las necesidades de una familia de cuatro personas durante cuatro días.

Tabla 7 Dispensa alimentaria para cuatro personas para un periodo de 4 días. Fuente: SINAPROC 2010

Despensa	Cantidad Requerida (gramos)	Productos Sustitutos
Azúcar	1000	No aplica
Café soluble	50	No aplica
Frijol cocido	1200	Frijol cocido: mínimo 1200 gramos en empaque tetra
Harina de maíz	1000	No aplica
Leche en polvo	480	No aplica
Arroz pre-cocido	750	Cereal (Avena, hojuelas de maíz, arroz inflado) mínimo 400 gramos
Atún	1380	Sardinas : mínimo 1275 granos en latas
Galletas	328	No aplica
Sopas instantáneas	200	No aplica
Dulces a base de leche	100	Caramelo macizo : mínimo 100 gramos
Agua mineral 3- 5litros por persona	16000	No aplica
PESO TOTAL	22488	

Según el Sistema Nacional de Gestión de Riesgos (2014), en el informe de estandarización de ayuda humanitaria de Colombia, los productos alimentarios de ayuda humanitaria vienen empacados en cajas o cartones corrugado, con medidas de **.20 x0.30 x .40** metros, con una impresión en la caja o con una etiqueta adherida con el logo de la Secretaria Nacional de Riesgos, junto con la especificación de la necesidad y la prioridad del riesgo. En la *figura 5.2.4-12* se presenta un esquema de las impresiones de las etiquetas que la (SNG), utiliza para identificar las cajas de despensas.



Figura 5-12 Etiquetas de identificación en envíos de ayuda humanitaria. Fuente: SNR, (2014)

Según la OMS (2001), en el manual logístico de suministros humanitarios, se menciona que el costo promedio de un kit alimenticio para cuatro personas, con las despensas señaladas en la Tabla 7. Dispensa alimentaria para cuatro personas para un periodo de 4 días, tiene un costo en promedio de 60 dólares por cada paquete. Además de conocer los productos, cantidades y costos de los kit alimenticios, es muy importante conocer el volumen que se va a tener con las cajas requeridas para atacar la emergencia y cumplir con los requerimientos de espacio de los albergues como de los centros de distribución. Las características de los kits alimenticios se resumen en la tabla 8.

Tabla 8. Características de los kits alimenticios. Fuente elaboración propia con los datos de la (Organización Panamericana de la Salud, 2000)

Volumen	Peso	Precio
0,024 m ³	22.48 Kilos	60 USD

b. Kits de aseo personal

Dado que las personas permanecerán al menos cuatro días en los albergues, que es el tiempo mínimo considerable que hay que esperar hasta que los lahares se solidifiquen, se tiene que considerar de la misma manera que los kits alimenticios, la colocación de kits de limpieza y aseo personal, los mismos que permiten el aseo. La descripción de los kits de limpieza se presenta en la tabla 9. Estos kits, se entregarán a cada familia formada por cuatro personas y cubren las necesidades de limpieza de cuatro días.

Tabla 9 Características de los kits de aseo personal. Fuente: Organización Panamericana de la Salud, 2000

Producto	Kit de Limpieza
Contenido	Jabón de tocador : 200 gramos
	Pasta dental de 100 ml/cm ³
	Cuatro Cepillos de dientes
	Papel higiénico cuatro rollos
Unidad de medida	1 Kit
Presentación	1 Bolsa

De la misma manera que se calculó el costo por el kit de despensas se deberá calcular el costo los kits de aseo personal. Para realizar este cálculo se investigó los precios de cada uno de los productos que conforman el kit de aseo personal, a fin de

obtener un valor referencial del kit se aseo personal. A continuación en la tabla 10, se hace un desglose del precio por cada producto del kit de limpieza.

Tabla 10 Lista de precios de aseo personal. Fuente: Elaboración propia con datos del Supermaxi

Producto	Kit de Limpieza	Precio por Producto
Contenido	Jabón de tocador : 200 gramos	\$ 0,30
	Pasta dental de 100 ml /cm ³	\$ 1,10
	Cuatro Cepillos de dientes	\$ 1,20
	Papel higiénico cuatro rollos	\$ 2,00
Presentación	1 Bolsa	\$ 0,20
Unidad	1 Kit	
Costo total del Kit		\$ 4,80

Las características de estos productos se resumen en la tabla 11. En esta, se puede apreciar el volumen de un kit de aseo personal junto con el precio de cada uno.

Tabla 11 Características de los kits de aseo personal. Fuente elaboración propia con los datos del Supermaxi, 2014

Volumen	Peso	Precio
0,05 m ³	0,7 Kilos	4,80 USD

c. Kits de Medicina

De acuerdo a las entrevistas mantenidas con Gavilanes (2014), Directora de la Unidad de Gestión de Riesgos del Ministerio de Salud Pública y Bonifaz (2014), Bioquímico Farmacéutico, Coordinador del Monitoreo y Evaluación de Gestión de la Dirección Nacional de Medicamentos, se puede obtener el listado de medicamentos propuesto como respuesta de emergencia frente a erupciones volcánicas. En este listado de medicamentos y dispositivos médicos también se puede observar una columna en la

que se especifica el tipo de medicamento que se da para tratar un tipo de patología. Ver anexo 6, para más detalle.

Según Bonifaz (2014), los kits de medicamentos que se presentan la tabla 12, cuentan con las medicinas necesarias para para afrontar las enfermedades que se han presentado en situaciones de emergencia anteriores, tales como las permanentes erupciones del volcán Tungurahua y el Reventador. El kit se lo cálculo para una cantidad de 100 personas, esto es debido a que cada kit contiene un conjunto de medicamentos que considera el perfil de la población afectada y las diferentes patologías presentadas. A continuación se presenta un gráfico de barras con las principales patologías identificadas en un proceso eruptivo.

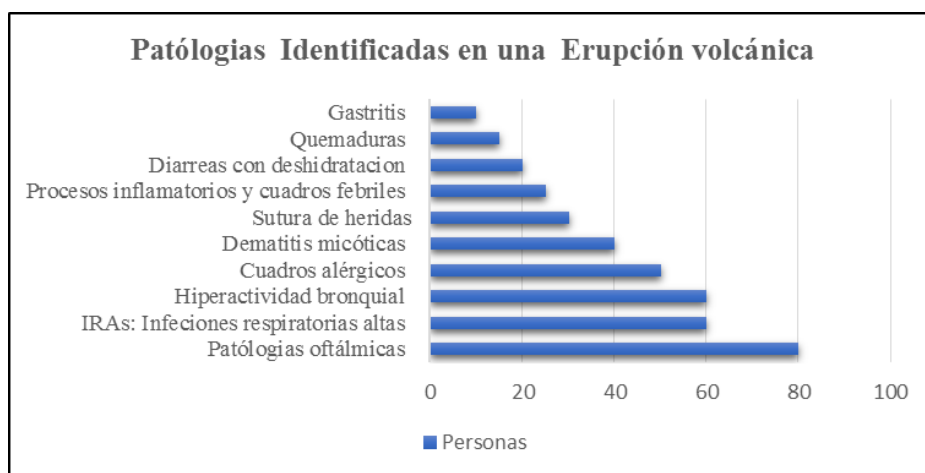


Figura 5-13 Patologías en una erupción volcánica cada 100 personas. Fuente elaboración propia con datos del Ministerio de Salud Pública 2014

Tabla 12 Suministros Médicos. Elaboración Propia con datos del Ministerio de Salud Pública

Kit de suministros médicos para 40 personas					
Utilización	Medicamento	Forma Farmacéutica	Unidades	Precio PVP	Precio (MSP)
Antibióticos	Amoxicilina	Sólido Oral (Polvo)	1 Caja	\$ 18,00	\$ 15,30
	Amoxicilina+ Ácido clavulánico	Sólido Oral (Polvo)	1 Caja	\$ 8,40	\$ 7,14
	Benzilpenicilina	Sólido Parental	1 Caja	\$ 14,00	\$ 11,90
	Magaldrato con simeticona	Líquido oral	1 Frasco	\$ 5,13	\$ 4,36
	Claritrocimina	Sólido Oral (Polvo)	1 Caja	\$ 11,48	\$ 9,76
Diaericos	Sales de deshidratación	Sólido Oral (Polvo)	fundas goteo	\$ 2,75	\$ 2,34
	Glusoca	Sólido Oral (Polvo)	1 Frasco	\$ 2,81	\$ 2,39
	Cloruro de Sodio	Sólido Oral (Polvo)	1 Caja	\$ 23,89	\$ 20,31
	Cotrimoxazol	Sólido Oral	1 Caja	\$ 17,00	\$ 14,45
	Cloruro de potasio	Sólido Oral (Polvo)	fundas goteo	\$ 2,75	\$ 2,34
Analgésicos	Diclofenaco	Líquido parental	1 Caja	\$ 3,79	\$ 3,22
	Ibuprofeno	Sólido Oral	1 Frasco	\$ 2,00	\$ 1,70
	Ketorolaco	Líquido parental	1 Caja	\$ 2,85	\$ 2,42
	Paracetamol	Sólido Oral	1 Caja	\$ 2,90	\$ 2,47
Antiestamínicos	Hidrocortisona	Sólido Parental	1 Caja Polvo esteril	\$ 3,30	\$ 2,81
	Loratadina	Sólido Oral	1 Caja	\$ 3,99	\$ 3,39
Oftálicas y dermatitis	Tobramicina	Líquido oftálmico	1 Gotero	\$ 4,50	\$ 3,83
	Permetrina	Líquido cutáneo	1 Frasco	\$ 2,99	\$ 2,54
	Densitin	Crema	1 Pomada	\$ 3,60	\$ 3,06
	Lágrimas artificiales	Líquido oftálmico	1 Gotero	\$ 4,38	\$ 3,72
Antisépticos	Lidocaina	Líquido cutáneo	1 Pomada	\$ 13,43	\$ 11,42
	Alcohol	Líquido cutáneo	1 Galón	\$ 8,00	\$ 6,80
	Yodo	Líquido cutáneo	3 Litros	\$ 5,00	\$ 4,25
	Nitrofuranoína	Sólido oral	1 Caja	\$ 3,20	\$ 2,72
Otros	Gasas	Unidades	1 Caja	\$ 10,75	\$ 9,14
	Esparadrapos	Unidades	1 Caja	\$ 2,75	\$ 2,34
	Bandas	Unidades	1 Cja	\$ 8,00	\$ 6,80
	Guantes	Unidades	1 Caja	\$ 7,50	\$ 6,38
Costo total					\$ 169,27

De la misma forma, que los kits alimenticios, se pueden obtener las características de los kits de medicina, gracias a la información proporcionada en el Ministerio de Salud Pública. Se determinó que el un kit de medicamentos en promedio para atender a 40 personas tiene las siguientes características: volumen de $0.019 m^3$ y un peso de 0,9 Kilos. Sin embargo el costo y el volumen dependen de las patologías presentadas y las dosis que se tengan que proporcionar (Bonifaz, 2014).

Para calcular el valor de los medicamentos y los dispositivos médicos, se utilizó la lista de precios de (Farma Precios, 2013). En este listado se puede ver tanto el valor de los precios PVP, con el valor de los precios por producto de la farmacia. Para

determinar el costo unitario de los productos, tomo en cuenta el art. 163 de la ley orgánica de la salud, en el cual se estipula que “Los laboratorios farmacéuticos, distribuidoras farmacéuticas, casas de representación de medicamentos, dispositivos médicos, productos dentales, reactivos bioquímicos y de diagnóstico, en las ventas que realicen a las instituciones públicas deberán descontar un porcentaje no inferior al 15% del precio de venta a farmacia” (Ley orgánica de la salud, 2014). Por ello, para encontrar el valor unitario por producto se le descontó el 15% del PVP. En la tabla que se presenta a continuación se presenta el kit de suministros médicos para atender la necesidad de 40 personas junto con el costo del empaque.

a. Kits de Abrigo y protección

En este kit se contemplan cobijas térmicas y mascarillas para que puedan hacer uso de estos productos durante el tiempo que se encuentren los refugiados en los albergues. En la tabla 13, se puede observar lo que el kit contiene:

Tabla 13 Cantidades y productos kit de abrigo y protección. Fuente Ministerio de Salud Pública, 2014

Producto	Cantidad
Cobija Térmica	4 Unidades
Mascarilla	4 Unidades

Las características de este kit, se pueden observar en la tabla 14

Tabla 14 Características de este kit, se pueden observar en la tabla 14

Volumen	Peso	Precio
0.6 m ³	6 kg	12 USD

5.4.7. Determinación de la capacidad de aprovisionamiento de los centros de distribución.

Dentro del modelo también se contempla la apertura de nuevos centros de distribución para que puedan suplir las necesidades que se presenten al momento que se dé la emergencia. Los centros de distribución van a ser los encargados de enviar todos los insumos necesarios para que la gente pueda tener el sustento adecuado hasta que se reduzca el peligro y sean capaces de movilizarse a lugares más seguros y mejor abastecidos. Al igual que para los albergues, se realiza una ubicación mediante Google Maps de los lugares candidatos para ser escogidos como centros de distribución. La solución al modelo propuesto permitirá definir los lugares que se abren en función de la distancia y el costo de operación de los centros de distribución como se mencionó en el capítulo 4. Otros supuestos son:

- Se asume que los insumos se encuentran previamente pre-posicionados en los centros de distribución antes de que ocurra el evento catastrófico, de esta manera se tendrá una capacidad de respuesta más elevada.
- Otra de las asunciones que se realizan es que el envío de los productos desde los centros de distribución hasta los albergues se realiza con un solo tipo de vehículo. De esta manera se cuenta con una capacidad única dentro de todos los camiones y se facilita la estimación del costo de envío del flete así como del consumo de gasolina de cada uno de los automotores.

Después de un análisis de los posibles lugares para la ubicación de los centros de distribución y una charla acerca de donde proviene la ayuda, que es específicamente la ciudad de Quito (Aguilera, Pareschi, Rosi, & Zanchetta, 2004), se pudo determinar que los tres posibles centros de distribución son los siguientes:

Tabla 15 Posibles centros de Distribución. Fuente de Elaboración Propia.

Bodega	Capacidad (Metros cúbicos)
El Dorado	12000
Parque Industrial Sur	2500
Tumbaco	8000

Se determinó tres locaciones separadas debido a la posibilidad de que alguna de las vías se inhabilité y sea necesario tomar rutas alternas. La primera bodega/ centro de distribución se localizó dentro de las instalaciones de ECU-911 debido a que allí se encuentra un espacio disponible en donde se podría ubicar. Además este es un sitio estratégico, debido a que aquí es donde se reciben la mayor cantidad de llamadas de auxilio si se diera la emergencia.

Una de las bodegas que se encuentran dentro del parque industrial en la zona Sur de la ciudad de Quito podría ser adecuada para funcionar como centro de distribución provisional. Además de tener varias vías de acceso dentro de esta zona el centro de distribución se encuentra lo más cerca del sector de Conocoto, que es en donde van a estar ubicados la mayoría de albergues. Adicionalmente, no existe la necesidad de utilizar al autopista dado que existen vías alternas que conectan la Av. Simón Bolívar con la vía hacia el Valle de los Chillos. Se determinó la capacidad de la bodega en función del área del terreno estimada al igual que en los demás casos.

La bodega del Consejo provincial ubicada en el sector de Tumbaco es la tercera bodega/ centro de distribución. Primeramente se escogió este sitio debido a que forma parte de los bienes públicos, entonces no existe un costo de arrendamiento de las

instalaciones. Además cuenta con un área útil bastante extensa por lo que sería de gran ayuda para auxiliar a las personas que tengan que movilizarse a los albergues ubicados en las zonas 6 y 5. Este centro de distribución puede utilizar la ruta al Nuevo Aeropuerto Simón Bolívar o también utilizar la ruta Viva y movilizarse los productos por la autopista que se dirige hacia el Valle de los Chillos. Se estimó una capacidad de 8000 metros cúbicos debido a que cuenta con varias edificaciones dentro del predio de 1200 metros cuadrados. Todas las distancias desde los centros de distribución hacia los albergues se pueden encontrar dentro del Anexo 7

5.4.8. Velocidad de desplazamiento y tiempo de evacuación en función de la distancia de las zonas de riesgo de los albergues.

Una de las condiciones para que el modelo funcione en la parte de la asignación de las personas desde los sitios de riesgo hasta los albergues es que se debe realizar la evacuación solo por vía terrestre y a pie. Se tomó esta consideración por varios factores. Para realizar la evacuación a pie, no se necesita ningún otro recurso que no sea la capacidad de desplazamiento de las mismas personas.

Para realizar la movilización de las personas con otras formas de transporte se necesita de un medio con la capacidad de movilizar ya sea a una o más personas. En el caso de una evacuación por erupción del volcán Cotopaxi no se puede contar con medios de transporte aéreos dentro del modelo, ya que existe una alta probabilidad de caída de ceniza. Este posible acontecimiento dejaría sin la capacidad de vuelo a estas máquinas por lo que no se considera adecuado dar por sentado su utilización. Temas como la seguridad y fiabilidad de los helicópteros se ven considerablemente reducidos en caso de condiciones de vuelo adversas (Padilla, 2014).

La evacuación es de uno de los momentos más importantes para la supervivencia y reacción en caso de que ocurra algún tipo de desgracia. Las acciones dirigidas hacia el mejoramiento de las operaciones de evacuación se consideran uno de los pasos más

importantes dentro de la etapa de prevención para cualquier amenaza. La evacuación preserva la estructura social para sobrevivir a través del alejamiento del peligro y abandono del lugar de residencia habitual. Debido a la naturaleza del terreno, a las distancias que deben recorrer las personas desde las zonas de riesgo a las zonas seguras y a posibilidad de un colapso de la red vial en un momento de estrés, como es el de una emergencia se recomienda que el método de evacuación desde las zonas de riesgo hasta los albergues se realice únicamente a pie.

La velocidad es uno de los factores más importantes para poder determinar a qué lugar deben evacuar las personas que se encuentren en peligro. Es por esto que se realizó una estimación para determinar los tiempos de arribo y evacuación desde los distintos puntos de las zonas de riesgo albergues. La estimación se realizó en función de un estudio de movilidad y su comparación entre las distintas velocidades de desplazamiento que se realizó en la ciudad de Barcelona, España (Bermejo, 2007). Las suposiciones para poder realizar la estimación de la velocidad de traslado son las siguientes:

- Se consideran únicamente desplazamientos directos. Esto implica una situación ideal en donde las personas no tienen impedimentos para movilizarse a una velocidad constante. Dentro de esta suposición se considera que no se detienen las personas dentro de los cruces de calle y que se puede caminar siempre en línea recta dentro de las calles, evitando los cambios de vereda o en ángulo de ataque en las distintas curvas.
- Las rutas de evacuación se definen como distancias o arcos de origen a destino, es decir no se realizan viajes entre albergues o zonas de riesgo antes de llegar al albergue definitivo. No se tomaron en cuenta las rutas que se podrían ver

afectadas por el lahar o que se encuentren cerca de una zona de riesgo, es por esto que no se utiliza la ruta más corta para la evacuación.

- Para poder ser capaces de obtener el tiempo de desplazamiento se debe tomar en cuenta la distancia directa de puerta a puerta como la hemos especificado bajo los distintos supuestos y también se debe estimar una velocidad. Para hallar la velocidad se ha tomado en cuenta la siguiente información tomada del laboratorio de movilidad e investigación.

Tabla 16 Velocidad de desplazamiento según edad y sexo. Fuente: (Mitchel, CGB, & Stokes, 1982)

Edad y sexo	Velocidad en (Km/h)
Hombres menores de 55 años	5.94
Hombres mayores de 55 años	5.47
Mujeres menores de 55 años	4.93
Mujeres mayores de 55 años	4.72
Mujeres con niños pequeños	2.52
Niños de 5 a 10 años	4.07
Adolescentes	6.48

Para realizar una estimación más real se debe también tomar en cuenta el factor de la pendiente según la naturaleza del terreno. Para poder estimar este valor se tomó en cuenta la siguiente información:

Tabla 17 Velocidad de desplazamiento según pendiente Fuente: (Mitchel, CGB, & Stokes, 1982)

Pendiente (%)	Velocidad (Km/h)
0	4.82
2	4.82
4	4.82
6	4.61
8	4.28
10	3.74
12	3.38
14	3.06
16	2.84
18	2.63

Se realizó una ponderación de las distintas velocidades en función de la población que habita el Valle de los Chillos. Posteriormente se utiliza la corrección en función del porcentaje de pendiente que se determinó igual al 10% en función de los datos encontrados por el Instituto Geográfico Nacional. Esto nos da un tiempo de 16 minutos por kilómetro desplazado, lo que se traduce en una velocidad aproximada de 4 kilómetros por hora.

5.4.9. Tiempo de evacuación en minutos.

El tiempo de evacuación se determina con la utilización de las distancias que se determinaron previamente entre las zonas de riesgo y los posibles albergues. Por medio de la aplicación de la simple ecuación de:

$$Velocidad = \frac{Distancia}{Tiempo}$$

Se despeja la ecuación y se obtiene el tiempo que se demoran las personas en movilizarse a los distintos albergues propuestos dentro del modelo. Este va a ser uno de los factores determinantes al momento de decisión si es que se abre o no el lugar para poder acoger a la gente. Tanto las tablas de distancias y tiempos se pueden encontrar dentro del Anexo 8.

5.4.10. Estimación de cantidad de personas afectadas por cada diferente zona de riesgo.

La estimación de la población afectada se realizó de dos maneras. En ciertos lugares, como es el caso de la urbanización Roble Antiguo, en donde todos los habitantes de la zona se ven afectados, simplemente se tomó a todas las personas como la población a ser evacuada. Este caso únicamente para cuatro de las 22 zonas de riesgo. Estos datos se consiguieron mediante la revisión de los datos del censo realizado por el INEC en el año 2010. Para las zonas de riesgo en las cuales no se tiene una afectación completa de toda su zona, se realizó otro tipo de análisis, se tomó en cuenta la densidad poblacional por cada una de las zonas de acuerdo a lo que muestra el gráfico que se presentó en el capítulo cuatro y que se vuelve a presentar a continuación. Después se vio la cantidad de área que ocupaba el lahar dentro de cada una de las zonas de riesgo. Esta estimación se realizó de manera gráfica. Otros de los datos referentes a la población afectada de ciertas zonas se consiguieron en función del trabajo de evaluación de riesgos realizado por el municipio que proporciono la cantidad de

personas que habitan en todas las zonas de riesgo. Las personas afectadas se muestran en el Anexo 9.

5.4.11. Costo fijo por abrir un centro de distribución

Los centros de distribución se definen como: “instalaciones que son ocupados para proteger los suministros que se requieran en la temporada de emergencia. Estos centros de distribución son ocupados para el manejo y manipulación de los productos que se envíen a los albergues que sean necesarios, y así, las personas que se encuentran en contingencia por las inundaciones tendrán alimento el tiempo necesario” (Gaytán, Arroyo, & Enríquez, 2011). Los albergues idealmente son sitios específicamente diseñados para cumplir con el almacenamiento. Al igual que en el sector comercial y privado es de preferencia que las edificaciones que hacen las veces de centros de distribución cumplan con ciertos requisitos, como son:

- Inventarios visibles
- Acceso a los productos que se tengan almacenados
- Accesibilidad para que llegue el transporte pesado.
- Se debe contar con una zona de consolidación del pedido, así como una zona de adelante para el embarque de los productos
- Lugar fresco, seco y ventilado para almacenar medicamentos
- Debe contar con estructura de concreto. Debe tener techo, puertas, buena ventilación y adecuada iluminación.

Las zonas adecuadas con que debe contar un centro de distribución son definidas por Gaytán *et al.* en su trabajo realizado en el 2011. Estas zonas se nombran a continuación:

- Zona de llegada: esta área está destinada para el ingreso de productos. Aquí se realizan tareas de recepción, verificación y control de los contenidos antes de almacenarlos.
- Zona de separación, clasificación y registro: en esta área se separan los productos que se tienen para después clasificarlos y almacenarlos.
- Zona de empaque y preparación de entregas: aquí es donde se preparan los envíos que van a ser despachados a cada albergue.
- Zona de almacenamiento: esta zona es donde se mantienen los productos que se tienen para después enviarlos a los diferentes albergues.
- Zona de entrega: esta zona debe tener accesibilidad para que los productos se puedan enviar a los diferentes puntos de la ciudad (Gaytán, Arroyo, & Enríquez, 2011).

No siempre se puede contar con todas las condiciones deseadas o necesarias para el funcionamiento de una bodega, especialmente si se tratan de operaciones de ayuda humanitaria. Una de las condiciones para este tipo de operaciones es que se debe trabajar con lo que se tiene a disposición. Para este estudio, se analizaron las instalaciones que se tienen en todo el Distrito Metropolitano de Quito para poder utilizarlas como centros de distribución. Únicamente se escogieron las más cercanas a la zona de desastre. Otra de las características principales que se debe cumplir con las instalaciones a elegir es que se tenga un espacio libre de gran tamaño, ya que se tendrá una rotación rápida de los productos para distribuirlos.

Otra característica que se debe cumplir para que una instalación sea ocupada como centro de distribución es la accesibilidad de la instalación, así como las entradas y las salidas que se tienen en la misma, esto con el fin de que se puedan mover y

manipular los productos y materiales que se distribuyen cuando la zona presente gran cantidad de ceniza.

Los costos para abrir un centro de distribución se estimaron solamente en función del tamaño de las instalaciones que debían ser preparadas para recibir todos los productos. En base a un estudio previo se determinó que el costo por preparar un metro cuadrado de una bodega era de \$0.5 centavos (Gaytán, Arroyo, & Enríquez, 2011), solo en base a la limpieza que se debía mantener en el local para que cumpla con los estándares de bodega de ayuda humanitaria. En el Anexo 10 se muestra una tabla con las áreas y costos estimados para cada centro de distribución.

CAPÍTULO 6- RESULTADOS DE LA MODELACIÓN

En este capítulo se detallarán los resultados arrojados por el modelo, así como su interpretación. Adicionalmente, se evaluará las mejores combinaciones de los resultados encontrados, a fin de determinar la mejor decisión que sirva como ayuda para la toma de acciones en caso de una erupción del volcán Cotopaxi.

Para la resolución del problema de programación lineal entera mixta (MIP por sus siglas en inglés), como ya se nombró en el capítulo 2, se realizó una escalarización o suma de pesos de las dos funciones objetivo, a fin de determinar cuál es el valor esperado mínimo en cada caso. Para ello, en primer lugar se realizó la optimización del costo total de la operación logística independientemente del tiempo, para determinar cuál es la región factible de la frontera Pareto. A través de este procedimiento además de obtener los valores óptimos de tanto el tiempo como el costo respectivamente, se pudo obtener los límites de la zona factible que será utilizada en el estudio. Para obtener una curva con más puntos se realizó la implementación de la restricción ϵ dentro del modelo, de esta forma se logró determinar muchos otros puntos dentro de la frontera de soluciones óptimas.

Este modelo fue resuelto en el modelador matemático AIMMS® utilizando el solver CPLEX, en su versión 12.6. Se resolvió el problema mediante un método de ramificación y poda, en el cual existieron 241 restricciones, 741 variables de las cuales 738 fueron enteras. El tiempo promedio de resolución fue de 1320 segundos, utilizando una computadora personal Intel Core 2 Duo con 4 Gb de memoria RAM y ocupando 64,9 Mb de la misma. En el anexo 15, se presenta el modelo en la interfaz de AIMMS.

La información que nos va a dar el modelo, junto con las decisiones que se pueden tomar en este escenario, son las siguientes:

- Cantidad de personas que se van a movilizar desde la zona de riesgo a los distintos albergues.
- La cantidad de centros de distribución que serán habilitados para asignar productos a los albergues.
- Cuáles y cuantos serán los albergues que serán habilitados en caso de emergencia.
- Cantidad de cajas, por tipo de producto, que se tendrán que enviar a los albergues desde los centros de distribución.

6.1. Minimización del tiempo total.

Para la minimización de la función objetivo del tiempo total, resuelto en AIMMS, se consideraron las siguientes condiciones: tres posibles centros de distribución, 22 albergues y 21 zonas de riesgo. Los resultados de modelo se presentan a continuación.

- **Asignación de personas a los albergues.**

En esta información se puede observar la asignación de las personas afectadas a los distintos albergues. Cabe recalcar, que debido a que no se da importancia al costo, se espera que esta variable se eleve de manera considerable. La información recopilada durante este escenario no solo es importante para determinar a qué lugares las personas tendrías que realizar viajes largos para poder llegar a una zona segura, sino que también es la principal entrada para determinar la cantidad de insumos necesarios en cada zona y delimitar la frontera de optimalidad Pareto.

Para determinar cómo se deberían movilizar las personas afectadas a los albergues, tomando en cuenta solo el criterio de minimización del tiempo total de evacuación, se pudo establecer la asignación de las personas a los diferentes albergues. En tabla 18, se presenta un extracto del resultado obtenido en el programa, con respecto a la asignación de la cantidad de personas de cada zona de riesgo que deberán moverse a los

albergues, mientras que en el Anexo 6 se presenta el consolidado de los resultados de la asignación de las personas a los albergues.

Tabla 18 Asignación de personas de las poblaciones de riesgo a los albergues mediante AIMMS. Fuente: Elaboración propia.

Zona de Riesgo\ Albergues	Colegio la Salle	Instituto Rumiñahui	Colegio Rumiñahui	Mercado de San Sebastián	Iglesia del Señor de los Puertes	Iglesia Cruz del Valle	Colegio Vicente Aguirre	Iglesia Central de Saugolqui
Colegio Farina								
Sector el Triangulo	618							
Av. General Rumiñahui					108		92	
Av General Enriquez		102					98	
Hospital San Rafael					72	125		
Urb. Roble antiguo								
Urb. San Luis								
Urb. Yaguachi								
Barrio Santa Bárbara								
Rivel Mall								
Av. Luis Cordero								
Redondel el Aguacate								35
Barrio el Progreso								115

Como se puede ver en la Tabla 18, 618 personas deberán ser movilizadas desde la zona de riesgo del triángulo al Colegio la Salle, junto con 102 personas que deberán movilizarse de la Av. General Enríquez hacia el Instituto Rumiñahui. Este resultado es válido debido a que la capacidad de todas las personas que se van a movilizar al colegio de la Salle, no sobre pasa la capacidad del albergue. En el Anexo 8, se puede apreciar que la Salle cuenta con una capacidad de alojamiento para 650 personas y el resultado determinado por el modelo asigna una cantidad de 618 personas, la misma que es

inferior a la capacidad de alojamiento. Esto se cumple gracias a la restricción número 5 de la formulación del problema. Como se puede ver en el anexo 8, el Mercado de San Sebastián es uno de los albergues que más gente recibe. En el recorrido se pudo apreciar que este lugar queda en un punto céntrico de Sangolquí y su alta capacidad hace que sea a donde se puedan movilizar las personas que se encuentren principalmente el sector del Colegio Juan de Salinas.

Mediante esta asignación de las personas a los albergues, se busca minimizar el tiempo de evacuación, más no el costo total de evacuación. Para esto, el modelo busca asignar a las personas a los albergues que tengan la distancia más pequeña de las zonas de riesgo a los sitios seguros.

Asignación de los centros de Distribución a los albergues.

En la asignación de los centros de distribución, se puede ver como todos los posibles centros de distribución se abren. Esto es debido, a que tomando en cuenta el criterio de optimización del tiempo y más no del costo, no existe una restricción para que obligue al programa de modelamiento a determinar cuáles de todos los posibles centros de distribución tiene el menor costo. A continuación en la tabla 19, se presenta la asignación.

- **Apertura de los diferentes albergues**

En relación a la apertura de los albergues, se pudo determinar gracias al modelo cuales de todos los posibles 22 albergues deberán abrirse en función al criterio de minimización del tiempo total de evacuación. Se pudo determinar que 2 de los 22

Tabla 19 Asignación de los centros de distribución a los albergues. Fuente: Elaboración propia

Albergues	Centros de Distribución																					
	El Dorado	Parque Industrial Sur	Tumbaco	Colegio la Salle	Instituto Técnico Rumiñahui	Colegio Rumiñahui	Mercado de San Sebastián	Iglesia del Señor de los Puentes	Iglesia Cruz del Valle	Colegio Vicente Aguirre	Iglesia Central de Sangolquí	Colegio JM 2	Colegio JM 3	Académica militar del valle	Arthur Janov	Fuerte Militar San Jorge	Educar 2000	Ecuadorina	Colegio Telmo Hidalgo	Villa Carmen	Hostería Sommer Garden	Iglesia El Triángulo
El Dorado					1	1		1	1			1	1					1		1	1	1
Parque Industrial Sur	1					1				1					1	1			1			
Tumbaco									1					1			1					

albergues no son necesarios aperturarlos, dando un total de 20 albergues para dar atención a un total de 5355 personas que se verían afectadas debido a la erupción del volcán Cotopaxi. Todas estas personas evacuaron a pie. En la tabla 20, se presenta una captura de pantalla de los resultados expulsados por el programa de modelamiento AIMMS.

Tabla 20 Apertura de los albergues tomando en cuenta el criterio de minimización del tiempo total de evacuación. Fuente: Elaboración propia mediante AIMMS

	Suffix	Level	basic
	k		
<input type="checkbox"/>	Colegio La Salle	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	Instituto Técnico Rumiñahui	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	Colegio Rumiñahui	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	Mercado de San Sebastián	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	Iglesia del Señor de los Puentes	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	Iglesia Cruz del Valle	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	Colegio Vicente Aguirre	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	Iglesia Central de Sangolquí	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	Colegio JM 2	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	Colegio JM 3	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	Académica militar del valle	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	AZVCH	<input type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	Arthur Janov	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	Fuerte Militar San Jorge	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	Educar 2000	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	Ecuadorina	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	Colegio Telmo Hidalgo	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	Colegio Lev Vigotsky	<input type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	Villa Carmen	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	Hostería Sommer Garden	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
<input type="checkbox"/>	Iglesia El Triángulo	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic

Como se puede ver en la tabla 20, los albergues que deberán ser abiertos considerando la minimización del tiempo total de la evacuación, son los albergues que están marcados en un visto. Se puede concluir que para minimizar el tiempo total de evacuación no hace falta que se abran los albergues de la administración Zonal de Valle de los Chillos y el Colegio Lev Vygotsky.

- **Apertura de centros de distribución y envío de productos**

Como ya se mencionó anteriormente, tomando en cuenta el criterio de minimización del tiempo, no existe una restricción que obligue al programa de modelamiento a determinar cuáles de todos los posibles centros de distribución deberán abrirse para suplir las necesidades de la población en función del costo. Por lo tanto, este criterio de

minimización del tiempo obliga que todos los centros de distribución se abran para poder enviar los productos. A continuación, en la tabla 21, se presenta una captura de pantalla en la que se muestra la apertura de todos los 3 posibles albergues para entender a la población en caso de emergencia.

Tabla 21 Apertura de los posibles centros de distribución tomando en consideración el criterio de minimización del tiempo. Fuente: Elaboración Propia.

Suffix	Level	basic
El Dorado	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
SNGR	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
CELAH	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic

Por otro lado, para el envío de los kits de productos que deberán ser despachados, desde los centros de distribución a los albergues, se necesitaron las siguientes cantidades presentadas en tabla 22, la misma que se detalla a continuación.

Tabla 22 Asignación de los kits de ayuda humanitaria desde los centros de distribución a los albergues

	Paquete Alimentos	Paquete Medicinas	Paquete Abrigo
Colegio Rumiñahui	79	8	79
Iglesia del Señor de los Puentes	45	5	45
Colegio JM 2	18	2	18
Colegio JM 3	63	7	63
Educar 2000	129	116	129
Ecuadorina	63	7	63
Colegio Telmo Hidalgo	53	6	53
Villa Carmen	22	42	22
Hostería Sommer Garden	10	1	10
Iglesia El Triángulo	38	4	38

En la tabla 22, se presenta un extracto de solo el envío de los kits de ayuda humanitaria desde un centro de distribución a los diferentes albergues, pues como ya se mencionó anteriormente, para el criterio de minimización del tiempo, el modelo no obliga a tomar en consideración los costos de abrir o no un centro de distribución. Es

por ello, que para este caso no solo se tendrá un envío de un centro de distribución si no se tendrán de varios.

Mediante la tabla 22, también se puede interpretar la cantidad de cajas con los diferentes productos que deberán ser enviadas desde el centro de distribución del Dorado hacia los diez albergues necesitados de suministros. Como se puede ver en la tabla 22, el colegio Educar 2000, es el colegio que recibe mayor cantidad de productos, este recibe un total de 129 cajas de alimentos, 116 paquetes de medicina y 129 paquetes de abrigo y protección. Esta información se puede corroborar comparando con la tabla de asignación de personas en la cual se puede observar que 570 personas se movilizarán desde las zonas de riesgo a este albergue. Si se divide esta cantidad de personas damnificadas con los factores de conversión de productos se obtiene esta igualdad en el envío de cajas.

Finalmente, mediante estos resultados se pudo determinar que el tiempo óptimo considerando el criterio de minimización del tiempo es el presentado en la tabla 23, detallada a continuación.

Tabla 23 Valores óptimos tomando en consideración el criterio de minimización del tiempo. Fuente: Elaboración propia

Objetivo	Minimizando el tiempo
Costo total de operación	\$2764254 USD
Tiempo total de la evacuación de toda la población	151905 (Minutos)

Como se puede ver, la tabla 23 indica el costo total de la operación, tomando en consideración el criterio minimización del tiempo. En la tabla mencionada se puede observar que el costo de la operación minimizado el tiempo es de \$ 2764254 USD

dólares, mientras que el tiempo total de la evacuación es de 151905 minutos para evacuar a toda la población. Es decir que se obtiene un tiempo promedio de evacuación por personas es de 36,28 minutos. Esto se obtiene dividiendo el tiempo total de la evacuación para el total de la población afectada.

Tomado en consideración el estudio realizado por de Padilla y Boque, (2004), basados en las simulaciones del desplazamiento de los flujos de los lahares, se puede concluir que el tiempo de evacuación promedio determinado en este estudio es mayor que el obtenido por los autores mencionados anteriormente. Sin embargo, la principal razón por la que el tiempo de evacuación de este estudio es superior, es debido a que en se toma en cuenta el tiempo de evacuación desde las zonas de riesgo a los albergues temporales, más no la evacuación de las zonas afectadas a los puntos y localidades seguras. El tiempo de evacuación determinado por Padilla y Bosque, (2004), varía en un rango de 15 a 20 minutos.

Estudios similares en relación a los tiempos de evacuación, no han sido realizados anteriormente, por lo que es imposible contar con una línea base como referencia para comparar los tiempos obtenidos. Esto se debe a que la forma de cálculo de la evacuación puede variar dependiendo de varias circunstancias pertenecientes a cada situación específica, tales como: topografía del terreno, cantidad de la población y la ubicación de los albergues seguros.

6.2. Minimización del Costo Total.

De la misma manera que para la minimización del tiempo total, se realizó el modelo de optimización en AIMMS, solo tendiendo en consideración el criterio del costo total independiente del tiempo. Para la modelación, de igual forma, se tomaron en cuenta los 3 posibles centros de distribución, los 22 albergues y las 21 zonas de riesgo. Los resultados fueron los siguientes:

- **Asignación de las personas a los albergues**

Se determinó que la asignación de las personas a los albergues, minimizado solo el costo de transporte, independientemente del tiempo de evacuación, varía significativamente en comparación a tabla 18 de la asignación de las personas a los albergues en función del tiempo. Como se puede ver en el extracto de la tabla 24, cuando se minimiza el costo de la operación se asignan 80 personas del barrio Santa Bárbara, junto con 130 personas del hospital de Sangolquí. Esta asignación es diferente a la determinada minimizando el modelo solo en función del tiempo.

Tabla 24 Extracto de la asignación de las personas afectadas a los albergues tomando en cuenta el criterio de minimización del costo. Fuente: Elaboración

ZONA DE RIESGO	LOCALIZACIÓN POSIBLES ALBERGUES							
	La Salle	Inst. Técnico Rumiñahui	Colegio Rumiñahui	Mercado San Sebastián	Iglesia Señor de los Puentes	Iglesia Cruz del Valle	Colegio Vicente Aguirre	Iglesia Central de Sangolquí
Colegio Farina				224				
Sector el Triangulo								
Av. General Rumiñahui								
Av General Enriquez								
Hospital San Rafael		134		191				
Urb. Roble antiguo						120		
Urb. San Luis								
Urb. Yaguachi								
Barrio Santa Bárbara	80							
Rivel Mall								
Av. Luis Cordero		134						
Redondel el Aguacate								75
Barrio el Progreso								
Hospital de Sangolquí	130							

La razón por la que asignación varió significativamente en comparación a la asignación tomado en cuenta el criterio del tiempo, es porque para este caso, el modelo se centró específicamente en encontrar la solución óptima para minimizar todos los costos totales sin tomar en cuenta el tiempo mínimo para la evacuación. Para esta resolución, el problema de modelamiento no tomo en cuenta las distancias mínimas de las diferentes zonas de riesgo a los albergues, solo se enfocó en los diferentes costos asociados a la operación logística tales como costo de transporte, costo de habilitar los

albergues y los centros de distribución. Se pudo determinar que la resolución del modelo es correcta debido a que las distancias de evacuación a los sitios seguros es considerablemente mayor a la que se determinó en función del tiempo.

La resolución del costo independiente del tiempo total de evacuación se realizó en una computadora personal Intel Core i5, con 4 Gb de memoria RAM. A continuación en la figura 6-1, se presenta el detalle de tiempo y el número de interacciones que se demoró el programa para determinar la solución.

```

READY
-----
AIMMS           : Logistica Humanitaria Los Chillos.amb
Math.Program    : Minimizacion
# Constraints   : 241
# Variables    : 741 (738 integer)
# Nonzeros     : 5347
Model Type     : MIP
Direction      : minimize

SOLVER         : CPLEX 12.6
Phase          : Postsolving
Iterations     : 6193357
Nodes          : 1296303 (Left: 0)
Best LP Bound  : 2486497.581 (Gap: 0.00%)
Best Solution  : 2486497.581 (Post: 2486497.581)
Solving Time   : 1304.97 sec (Peak Mem: 45.2 Mb)
Program Status : Optimal
Solver Status  : Normal completion

Total Time     : 1305.42 sec
Memory Used    : 70.5 Mb
Memory Free    : 4096.0 Mb

```

Figura 6-1 Informe del procesamiento del modelo de Optimización para la minimización del Costo total de la operación logística. Fuente: Elaboración propia mediante AIMMS.

- **Apertura de los posibles albergues**

En relación a la apertura de los albergues, se pudo determinar gracias al modelo, cuáles de todos los posibles 22 albergues deberán abrirse en función al criterio de minimización del costo total de la operación logística. Se pudo determinar que 3 de los 22 albergues no son necesarios aperturarlos, dando un total de 19 albergues para dar atención a un total de 5355 personas que se verían afectadas debido a la erupción del

volcán Cotopaxi. También se pudo ver que el único colegio que no se debe abrir es el colegio Lev Vigostky, al igual que en el anterior caso tomado en cuenta el criterio de minimización del tiempo total. Todas estas personas evacuaron a pie. En la tabla 25, se presenta una captura de pantalla de los resultados expulsados por el programa de modelamiento AIMMS en base al criterio de optimización de minimización del costo.

Tabla 25 Apertura de los albergues tomando en cuenta el criterio de optimización de minimización del costo total de la operación logística. Fuente de Elaboración propia mediante AIMMS.

Suffix	Level	basic
k		
Colegio La Salle	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
Instituto Técnico Rumiñahui	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
Colegio Rumiñahui	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
Mercado de San Sebastián	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
Iglesia del Señor de los Puentes	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
Iglesia Cruz del Valle	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
Colegio Vicente Aguirre	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
Iglesia Central de Sangolquí	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
Colegio JM 2	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
Colegio JM 3	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
Académica militar del valle	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
AZVCH	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
Arthur Janov	<input type="checkbox"/>	NonBasic
Fuerte Militar San Jorge	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
Educar 2000	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
Ecuadorina	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
Colegio Telmo Hidalgo	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
Colegio Lev Vigotsky	<input type="checkbox"/>	NonBasic
Villa Carmen	<input type="checkbox"/>	NonBasic
Hostería Sommer Garden	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic
Iglesia El Triángulo	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic

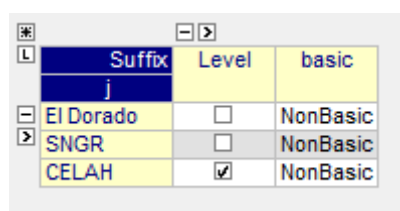
Como se puede ver en la tabla 25, los albergues que se deberán ser abiertos considerando la minimización del costo total de la evacuación, son los albergues que están marcados en un visto. Se puede concluir que para minimizar el costo total de la evacuación no hace falta que se abran los albergues del Colegio Lev Vigotsky, Villa del Carmen y el colegio Artthut Janov.

- **Apertura de centros de distribución y envío de productos**

De igual forma que se realizó el procedimiento para determinar cuáles centros de distribución deberán abrirse en base al criterio de minimización del tiempo, se siguió para hallar los centros de distribución que deberán ser habitados para el envío de los distintos paquetes minimizando en este caso el costo. Esto se realizó para determinar cuáles centros de distribución deberán ser aperturados en Quito para poder suplir las necesidades de la población afectada.

A continuación se presentan los resultados que se obtuvieron al correr el modelo, en base el criterio de minimización del costo total. La información que se muestra es de la apertura de los centros de distribución, así como también del tipo de producto que deberá ser enviado a cada albergue. Los datos de la capacidad de cada centro de distribución, junto con los datos de la distancia de los centros de distribución se presentan en los anexos 11 y 7. Estos valores fueron ingresados en el programa de optimización para obtener los siguientes resultados

Tabla 26 Apertura de los posibles Centros de Distribución



Suffix	Level	basic
El Dorado	<input type="checkbox"/>	NonBasic
SNGR	<input type="checkbox"/>	NonBasic
CELAH	<input checked="" type="checkbox"/>	NonBasic

Como se puede ver en la tabla 26, solo se necesita de la apertura de un centro de distribución para atender a la demanda de todos los albergues, a diferencia que cuando se corrió el criterio de minimización de tiempo se debieron habilitar todos los centros de distribución para minimizar el tiempo de respuesta para la distribución de los insumos. Para este caso, inclusive, no fue necesario habilitar, el centro de distribución del Dorado, el mismo que cuenta con la mayor capacidad como se puede ver en el anexo 11.

La interpretación del resultado es lógica, debido a que para esta situación el criterio de minimización del costo obliga al modelo a minimizar el costo total de la operación, haciendo que se habilite el centro de distribución con el menor costo de habilitación que es el de la CELAH.

Para el envío de los kits de productos que deberán ser enviados desde los centros de distribución a los albergues, se necesitaron las siguientes cantidades presentadas en tabla 27, que se detalla a continuación:

Tabla 27 Distribución de los paquetes de ayuda humanitaria. Fuente de Elaboración propia.

k	i	Paquete Alimentos	Paquete Medicinas	Paquete Abrigo
		160	16	160
		70	7	70
		78	8	78
		150	15	150
		45	5	45
		30	3	30
		47	5	47
		100	10	100
		17	2	17
		65	7	65
		125	13	125
		50	5	50
		117	12	117
		128	13	128
		60	6	60
		50	5	50
		10	1	10
		37	4	37

Mediante estos resultados se pudo determinar el tiempo y el costo óptimo considerando el criterio de minimización del tiempo presentado en la tabla 28. Como se puede ver en la tabla 28, el costo de operación logística es mucho menor que el costo obtenido en la tabla 23.

Tabla 28 Valores óptimos tomando en consideración el criterio de optimización de minimización del costo. Fuente: Elaboración propia

Objetivo	Minimizando el Costo
Costo total de operación	2486498 \$ USD
Tiempo total de la evacuación	345120 en minutos

- **Comparación entre minimizar solo el tiempo de evacuación vs minimizar solo el costo de la operación (Extremos).**

Como se puede ver en la tabla 28, el costo de operación logística es mucho menor que obtenido en la tabla 23. Tomando este criterio de minimización, se puede ver que existe una diferencia en el costo de la operación logística de 277756 USD dólares.

Por otro lado, tomando en cuenta este criterio de minimización del costo, se puede observar que el tiempo de evacuación de toda la población aumenta significativamente a un valor de 345120 minutos. Dando como resultado un tiempo promedio para la evacuación por personas de 64,44 minutos por personas. Esto nos da a entender que si se considera solo el costo de la evacuación como criterio de optimización, el tiempo promedio se dobla, reduciendo las probabilidades de vida de las personas.

Tabla 29 Comparación entre los dos criterios de optimización. Fuente: Elaboración propia

Objetivo	Minimización del Costo	Minimización del tiempo	Diferencia
Costo total de operación	2486498 \$ USD	\$2764254 USD	\$277756
Tiempo total de la evacuación	345120 en minutos	151905 (Minutos)	345120 (minutos)

6.3. Delimitación de la frontera Pareto minimizando Tiempo vs. Costo

Para poder determinar, los valores tanto del tiempo como el del costo total, en el escenario de desastre propuesto, se procedió a correr el modelo de optimización 10 veces, asignando diferentes pesos según la importancia de cada criterio de optimización. Antes de realizar esto se corrió el modelo en sus escenarios límite para poder determinar la región factible de la frontera Pareto. Vale la pena recalcar que los valores uniformemente repartidos en los pesos de los parámetros no se traducen a puntos de repartición uniforme dentro de la frontera.

En la siguiente ecuación se presta la ponderación de las variables a fin de poder obtener la frontera Pareto.

$$Min = \alpha * \frac{Costo\ Total}{Costo\ Optimo} + \beta * \frac{Tiempo\ Total}{Tiempo\ Optimo}$$

Donde:

$$\alpha + \beta = 1$$

(Caramia & Dell'Olmo, 2008)

Los resultados obtenidos al momento de realizar la resolución con los diferentes pesos de asignación, se presentan en la tabla 30, detallada a continuación.

Tabla 30 Puntos y valores obtenidos para determinar la frontera Pareto. Fuente de Elaboración propia.

Puntos para la frontera Pareto			
Alfa	Beta	Costo Total	Tiempo Total
0	1	2764264	151905
0,1	0,9	2497050	151911
0,2	0,8	2493432	151951
0,3	0,7	2491662	151993
0,4	0,6	2491662	151993
0,5	0,5	2489813	152084
0,6	0,4	2489813	152084
0,7	0,3	2488003	152328
0,8	0,2	2488003	152328
0,9	0,1	2487423	152518
1	0	2486498	345120

Una vez determinados los valores tanto para el tiempo y el costo, se procedió a graficar los puntos obtenidos para determinar el comportamiento de la frontera Pareto. Los resultados de los puntos graficados se presentan en la siguiente gráfica:

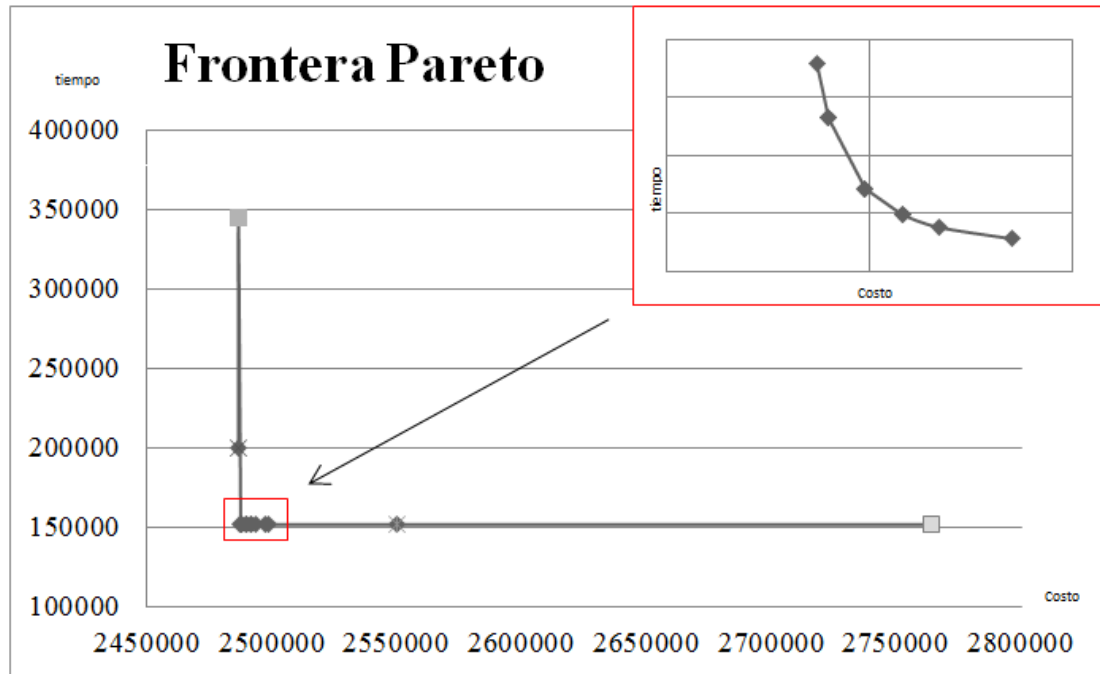


Figura 6-2 Frontera Pareto. Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la figura 6-2, Frontera Pareto, no existe un valor intermedio que optimice, las dos funciones objetivos de manera equitativa, sin embargo, se realizó un análisis para determinar la diferencia entre el costo y tiempo que hay al momento de asignar los pesos. En la tabla 31 se presenta las diferencias entre estos criterios. El inserto dentro de la misma gráfica nos deja ver el comportamiento de ambas funciones objetivo dentro de los puntos de inflexión. Los puntos destacados con un color tomate representan los escenarios extremos en donde solo se optimizó una de las funciones objetivo. Los puntos que resaltan en amarillo se determinaron mediante la utilización de la restricción ϵ . Se realizó el cálculo de estos puntos, dado que la escala que está utilizándose, junto con la gran diferencia que existe entre los casos extremos, dificulta poder ver gráficamente la razón de cambio entre ambas funciones objetivo al momento de dar la asignación de los pesos. De esta manera no solo que se comprobó

que el comportamiento de la curva es el correcto sino que también, se logró conseguir más puntos que delimiten su forma de manera más exacta.

Tabla 31 Diferencias en tiempos y costos de acuerdo a la asignación de pesos.

Puntos para la frontera Pareto					
Alfa	Beta	Costo Total	Tiempo Total	Diferencia Costo	Diferencia Tiempo
epsilon	epsilon	2486497	200000	-1	-145120
1	0	2486498	345120	-925	192602
0.9	0.1	2487423	152518	-580	190
0.7	0.3	2488003	152328	0	0
0.8	0.2	2488003	152328	-1810	244
0.5	0.5	2489813	152084	0	0
0.6	0.4	2489813	152084	-1849	91
0.3	0.7	2491662	151993	0	0
0.4	0.6	2491662	151993	-1770	42
0.2	0.8	2493432	151951	-3618	40
0.1	0.9	2497050	151911	-1809	5
epsilon	epsilon	2498859	151906	-51141	1.2
epsilon	epsilon	2550000	151904.8	-214264	-0.2
0	1	2764264	151905		

Como se puede ver, en la tabla 31, no existe mucha diferencia entre los costos y los tiempos, sin embargo se puede observar que si se le asigna un coeficiente de importancia al tiempo por más pequeño que sea, en nuestro caso de 0,1, el tiempo total de evacuación se ve reducido en 192602 minutos, lo que traducido a minutos totales significa una reducción de 35 minutos en el tiempo promedio de evacuación. Con esto se puede concluir que si tan solo se le asigna una importancia relativa menor al tiempo, este influye fuertemente en la reducción del tiempo sin elevar exageradamente el costo y es por esto que se escoge a esta opción como la que se debería implementar en caso de un desastre, ya que mantiene los costos bajos, en busca de la eficiencia pero a la vez toma en cuenta el tiempo y lo reduce considerablemente.

CAPÍTULO 7.- CONSLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Hallazgos más significativos del Estudio.

- El tiempo promedio de evacuación minimizando solo la función del tiempo, es dos veces menor que el tiempo obtenido minimizando la función del costo. Por lo tanto, el tiempo promedio de evacuación se incrementa de 28,36 minutos incrementa a por a 64, 44 minutos por persona.
- Debido a la carencia de sistemas de prevención temprana, el tiempo de evacuación es uno de los factores clave para que no existan víctimas mortales. Por lo que se define el menor tiempo de acción como su factor primordial.
- Los modelos logística humanitaria son de vital importancia para poder mejorar la capacidad de respuesta ante una situación de emergencia y a su vez ayudar a planificar las operaciones en las etapas de prevención y mitigación.
- El uso de modelos multi-objetivo, son de gran importancia, ya que pueden ser aplicados en situaciones más reales, en donde no solo se debe minimizar el costo, sino también factores como la seguridad y el tiempo.
- La etapa de prevención y de preparación debe realizarse junto con la población afectada para que el plan tenga éxito. Todas las familias y personas deben saber a cuál albergue acudir con el fin de que se cumplan los tiempos de evacuación esperados. En todas las operaciones de logística se debe tomar en cuenta el factor humano, especialmente en los casos en donde la vida de las personas corre peligro. Situaciones como la separación de familias, la movilización de personas de la tercera edad o discapacitados no se toman en cuenta al realizar este tipo de planes, pero deben ser considerados como excepciones especiales a tratarse con especial delicadeza.

- La frontera Pareto es una metodología muy útil, para determinar el conjunto de soluciones factibles cuando se realiza modelos de optimización multi- criterio. Mediante esta frontera, adicionalmente se puede ver la importancia de cada uno de los objetivos bajo distintos escenarios y el comportamiento de los mismos para poder realizar análisis de sensibilidad. Esto es de gran importancia al momento que se ponga en marcha el plan de prevención y acción
- Como ya se había mencionado en el capítulo 5, una de las poblaciones que se ve gravemente afectada en caso de que ocurra el lahar es la que se encuentra en el sector de Selva Alegre, cercana al Club Los Chillos. No solo existen una gran cantidad de viviendas que están a la orilla del río, sino que también no existe la suficiente cantidad de albergues. Esto claramente se puede ver tanto en los Anexos 7 y 8, debido a que estas son las poblaciones que más se movilizan a los distintos albergues, sin importar el tiempo o el costo.
- En ninguno de los casos que se probaron, ni al momento de la resolución tomando con mayor importancia el costo o el tiempo, se abrió el albergue ubicado en el Colegio Lev Vigotsky. Se debe reubicar este albergue para reducir el tiempo de evacuación de las personas que posiblemente podrían acudir a este lugar por otro mejor ubicado en función del costo y del tiempo.
- Como ya se nombró anteriormente, el mercado de San Sebastián es un lugar clave para las personas que principalmente se encuentra en Sangolquí incluso las que están en el sector norte de Selva Alegre. No solo es importante por su gran capacidad sino que también existen una clínica adyacente a este sitio que de ser necesario puede hacer las veces de hospital provisional.

7.2. Limitaciones del estudio

- Después de haber realizado este estudio, se pudo concluir que una de las principales limitaciones para realizar el mismo, fue la apertura de la información. Si bien es cierto se dice que la información del estado es información es pública, se encontró que existe mucha reserva y recelo por parte de las entidades gubernamentales en cuanto a proporcionar información.
- Se pudo observar que existe muy poco conocimiento y preparación por parte de las entidades gubernamentales que participarían en las fases de mitigación o respuesta ante una catástrofe. Esto fue uno principal limitantes, debido a que no se tuvo mucha colaboración de las personas para poder obtener parte de la información específica.
- El tiempo que se tuvo, para realizar esta investigación se suma a la lista de los factores limitantes para este estudio. No se contó con el tiempo necesario para poder realizar una investigación más profunda, debido a que el levantamiento de la información para realizar estudios de esta índole son muy complejos de encontrarlos.
- Para la realización de este estudio, debido a que no se sabe a ciencia cierta cómo será la materialización del peligro latente asociado a la erupción del volcán Cotopaxi, se tuvo que realizar aproximaciones y estimaciones en base a hechos históricos. Esto de cierta manera influyo en los resultados de este estudio debido a que este se basa en aproximaciones.

7.3. Recomendaciones

- La coordinación entre instituciones es vital para que estos planes puedan ser de real utilidad. Antes de que lleguen los distintos grupos de paquetes de ayuda existen muchas otras operaciones que deben realizarse de la manera correcta, como por ejemplo: la compra de los insumos, el acopio de donaciones y su

posterior clasificación, la entrada de los insumos y medicinas al país mediante las aduanas, etc. Todos estos pasos pueden ser objeto de estudio para mejorar su eficiencia para que la cadena de suministros humanitaria pueda actuar de manera ágil ante las situaciones inesperadas que se presenten.

- A pesar de que el plan de emergencias del cantón se viene estudiando desde el año 2003, no muchas más acciones se han tomado aparte de definir los sitios seguros. Se pudo determinar durante el estudio, que muchas de las flechas que indican a qué lugar debe movilizarse la gente, están direccionadas a los ríos por donde justamente pasaría el flujo de lodo. Esto da a entender, que la localización de algunos puntos seguros, han sido ubicados sin previo estudio y de manera empírica.
- Entre las posibles acciones que deberían tomar los encargados de este tema, que son tanto la SNGR o el GADMUR, se encuentran la colocación de un sistema de alarma temprana. Este sistema permitiría que las personas puedan ubicarse en los albergues mucho antes, asegurando así una evacuación total más organizada y sin los problemas relacionados con los apuros de la evacuación.
- Si es que se involucra al sector privado, cosa que es probable al momento de una desgracia, en donde la mayoría de las personas están dispuestas a colaborar, se debería considerar las bodegas ubicadas en el sector del km 1.5 de la vía Panamericana. Este lugar es un eje logístico en donde se ubican una multitud de bodegas y centros de distribución, incluyendo las bodegas de la Corporación la Favorita, las más grandes del país o las bodegas de Provefarma, en donde se encuentran gran cantidad de medicinas pertenecientes al grupo Fybeca. Estos insumos no pueden ser ignorados como posibles fuentes de ayuda y debería existir algún plan o modelo para incluirlos.

- La técnica de las ponderaciones no garantiza encontrar en frente de Pareto completo, solo funciona para problemas convexos continuos ya que no detecta todos los puntos del frente. Esta técnica solo sirve para darnos solo una idea. Lo recomendable para construir todo el frente es aplicar algún meta-heurístico multi-objetivo ya probado, como por ejemplo NSGA-II o diseñar un algoritmo especializado
- Los planes de emergencia no deben ser impuestos, sino que deberán ser socializados y aceptados por la población que va a formar parte de los mismos. Sus sugerencias y observaciones son muy importantes al momento de escoger el curso de acción dentro de una emergencia.

7.4. Futuros estudios.

- Existen numerosas zonas dentro del Ecuador que pueden ser afectadas por un gran número de desastres naturales. Existen zonas en el litoral ecuatoriano que merecen tanto o más atención que el problema que se trató dentro de éste estudio. Se recomienda realizar otros análisis en los sectores de peligro que se nombraron en el capítulo cuatro. Estos planes no solo sirven para mejorar la eficiencia en las operaciones de atención y rescate, sino que también tienen como propósito máximo salvaguardar el bienestar de las personas.
- Para el manejo de las bodegas es de especial importancia incluir un manejo de inventarios y control de bodegas correcto. Muchos de los productos como medicinas y perecibles deben ser cambiados de las perchas constantemente para que cuando el momento lo amerite puedan salir de los centros de distribución lo más rápido posible. Existen una gran cantidad de modelos multi-periodo que se pueden utilizar para modelar esta situación y ser agregados al problema. De este modo el mismo podrá ser más similar a la realidad tomando muchos otros costos en cuenta.

- Se recomienda también realizar estudios similares en otros escenarios de desastre. Se recomienda utilizar modelamiento y heurísticas matemáticas para poder mejorar la toma de decisiones frente a escenarios de riesgo como las recurrentes inundaciones en la región costa.
- Se recomienda realizar estos estudios en la fase de prevención de riesgos, más no después de que haya ocurrido el desastre. Por lo general, los estudios en materia de logística humanitaria se realizan en la fase de post desastre. Esto muchas veces es tarde ya que centenares de personas pueden perder sus vidas debido a la falta de organización y planificación. Realizar estudios de esta índole, permitirán a los expertos en el tema de riesgos y catastros tener una visión general al momento de considerar planes de prevención.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, E., & Toulkeridis, T. (2006). *Prevención de los riesgos asociados con la erupción del volcán Cotopaxi*. Quito: Prevolco Cosude.
- Aguilera, E., Pareschi, M., Rosi, M., & Zanchetta, G. (2004). *Risk from Lahars in the Northern Valleys of Cotopaxi Volcano*. Natural Hazards.
- AIMMS . (23 de Marzo de 2014). *AIMMS MODELING SYSTEM*. Obtenido de <http://business.aimms.com/>
- Andrade, D., Hall, M., Mothes, P., Rivero, D., & Yepes, H. (2005). *Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi*. Quito: Corporación Editora Nacional .
- Balcik, B., & Beamon, B. M. (2008). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 101-121.
- Beamon, B. (2005). Distribution Network Design For Humanitaria Relief Chains. *IE Graduate Seminar*, (págs. 1-39). Washington.
- Beamon, B., & Kotleba, S. (2006). Inventory modelling for complex emergencies in humanitarian relief operations. *Int. J. Logist.: Res. and Appl*, 1-18.
- Bermejo, M. (2007). *Comparación de tiempos de trayectos Metro-A Pie-Bici en la zona urbana de Barcelona*. Barcelona.
- BIOCENOSIS. (1984). *Clasificación de los Desastres Naturales por su Origen y los Daños Potenciales* . Madrid .
- Blong. (1984). *Volcanic hazards. A sourcebook on the effects of eruptions*. Australia: Academic Press.
- Bonifaz, L. (5 de Mayo de 2014). Kits de ayuda humanitaria y suministros médicos. (J. Celleri, & M. Ayala, Entrevistadores)
- Caramia, M., & Dell'Olmo, P. (2008). *Multi-objective Management in Freight Logistics*. Londres: Springer London.
- Carrillo, L. R. (2005). *Simulación de Lahares del Volcán Cotopaxi en sus Drenajes del Lado Norte con el Uso del Programa HEC-RAS*. Sangolquí: Carrera de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica del Ejército.
- Cruz Roja Americana. (2004). *Agua y Alimentos en una Emergencia*.
- Destinos Ecuador . (2013). *Destinos Ecuador* . Recuperado el 18 de Febrero de 2014, de <http://www.destinoecuador.ec/vallechillos.php>
- Drezner, T., Drezner, Z., & Salhi, S. (2006). A multi-objective heuristic approach for the casualty collection points location problem. *Journal of the Operational Research Society*, 727-734.

- Duran, S., Gutierrez, M. A., & Keskinocak, P. (2012). Pre-Positioning of Emergency Items Worldwide for CARE International. *Interfaces*.
- El Proyecto Esfera. (2004). *Carta humanitaria y normas mínimas de respuesta humanitaria en casos de desastre*. Ginebra : US Library of Congress.
- Fernández, R., & Soto, M. D. (2002). Optimización multi-criterio en el Contexto de la Programación Matemática.
- Figueira, L. (2007). Ciclo Vicioso de los Desastres. *Involucrando a la Comunidad en los Programas de Reducción del Riesgo*. Yacambú.
- Gavilanes, R. (5 de Mayo de 2014). Kits de Ayuda humanitaria y suministros médicos. (J. Celleri, & M. Ayala , Entrevistadores)
- Gaytán, J., Arroyo, P. E., & Enríquez, R. (2011). Un modelo bi-criterio para la ubicación de albergues, como parte de un plan de evacuación en caso de inundaciones. *Revista de Ingeniería Industrial*, pp 35-56.
- Gobierno Autónomo Decentralizado Municipal de Rumiñahui. (2012). *Plan de Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Cantón Rumiñahui*. Sangolquí.
- Goncalves, P. (2009). Humanitaria Logistics. *POMS Chronicle*, 7-8.
- Green, L., & Kolesar, P. (2004). Improving Emergency Responsiveness with Management Science. *Management Science*, 1001-1015.
- Instituto Geofísico del Ecuador . (30 de Enero de 2014). *Servicio Nacional de Sismología y Vulcanología*. Obtenido de <http://www.igepn.edu.ec/>
- Kahn, M. (2005). The Death Toll from Natural Disasters: The role of Income, Geography and Institutions. *The Review of Economics and Statistics*, 271-284.
- Knott, R. (1987). The logistics of bulk relief supplies. En *Disasters* (págs. 113-115).
- Kovács, G., & Spens, K. M. (2011). Trends and developments in humanitarian logistics - a gap analysis. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32-45.
- Kuroiwa, J. (2002). *Reducción De Desastres: Viviendo en Armonía Con La Naturaleza*. Lima: PNUD.
- Mercedez Benz . (29 de Abril de 2014). Obtenido de <http://www.mercedes-benz.com/>
- Ministerio Coordinador de Seguridad Interna y Externa; Secretaría Técnica de Gestión de Riesgos; Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. (S.F). *Guía para la incorporación de la variable riesgo en la gestión integral de nuevos proyectos de infraestructura*. Quito: Publiasesores Cía. Ltda.
- Mitchel, CGB, & Stokes, R. (1982). *Walking as a mode of transport*. Londres: TRL.

- Mundial, B. (2012). *Connecting to Compete 2012 Trade Logistics in the Global Economy*. Washington, DC: The World Bank.
- Muñoz, A. M. (1996). *Los Sistemas de Información Geográfica y sus Aplicaciones en la Conservación de la Diversidad Biológica*. Chile: Ambiente y Desarrollo .
- Nahmias, S. (2001). *Análisis de la Producción y las Operaciones* . Chicago: MCGRAW-HILL.
- Nolz, C., Doerner, K. F., & Hartl, R. (2010). Water distribution in disaster relief. *Internationa Journal of Phphysical Distribution & Logistics Management*, 693-708.
- Nolz, P., Semet, F., & Doerner, K. (2011). Risk approaches for delivering disaster relief supplies. *OR Spectrum*, 543-569.
- Ordoñez, J., Samaniego, P., Mothes, P., & Schilling, S. (2013). Las potenciales Zonas de Inundación por Lahares en el Volcán Cotopaxi. *Science for Changing World*, pp 3-17.
- Organización Panamericana de la Salud. (2000). *Manual para el manejo logístico de suministros humanitarios*. Washington, D.C.
- Organización Panamericana de la Salud. (2001). *Logística y gestión de suministros en el sector salud*. Washington, D.C.: Organización Panamericana de la Salud.
- Osorio, J. C., & Lasso, D. F. (2012). Ob shop scheduling biobjetivo mediante enfriamiento simulado y enfoque de pareto. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*.
- Owen, S., & Daskin, M. (1998). Strategic facility location: A review. *Euro. J. Oper. Res*, 423-447.
- Ozdamar, L. (2011). Planning helicopter logistics in disaster relief. *OR Spectrum*, 655-672.
- Pachecho, F. (2 de Mayo de 2014). Costos logísticos de transporte. (J. Celleri, Entrevistador)
- Padilla, O. (19 de Febrero de 2014). Amenazas Volcán Cotopaxi en el Valle de los Chillos. (J. Celleri, & M. Ayala , Entrevistadores)
- Pérez, M. (2002). Estudio del procesado de ingredientes alimentarios sólidos. *Tesis (Maestro en Biotecnología)--Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Química.*, 85-89.
- Petro Ecuador . (28 de Abril de 2014). Obtenido de <http://www.eppetroecuador.ec/index.htm>
- Prathymchaip, & Samarakoon, L. (11 de Marzo de 2005). *Application of remote sensing and GIS techniques for flood vulnerability and mitigation planning in*

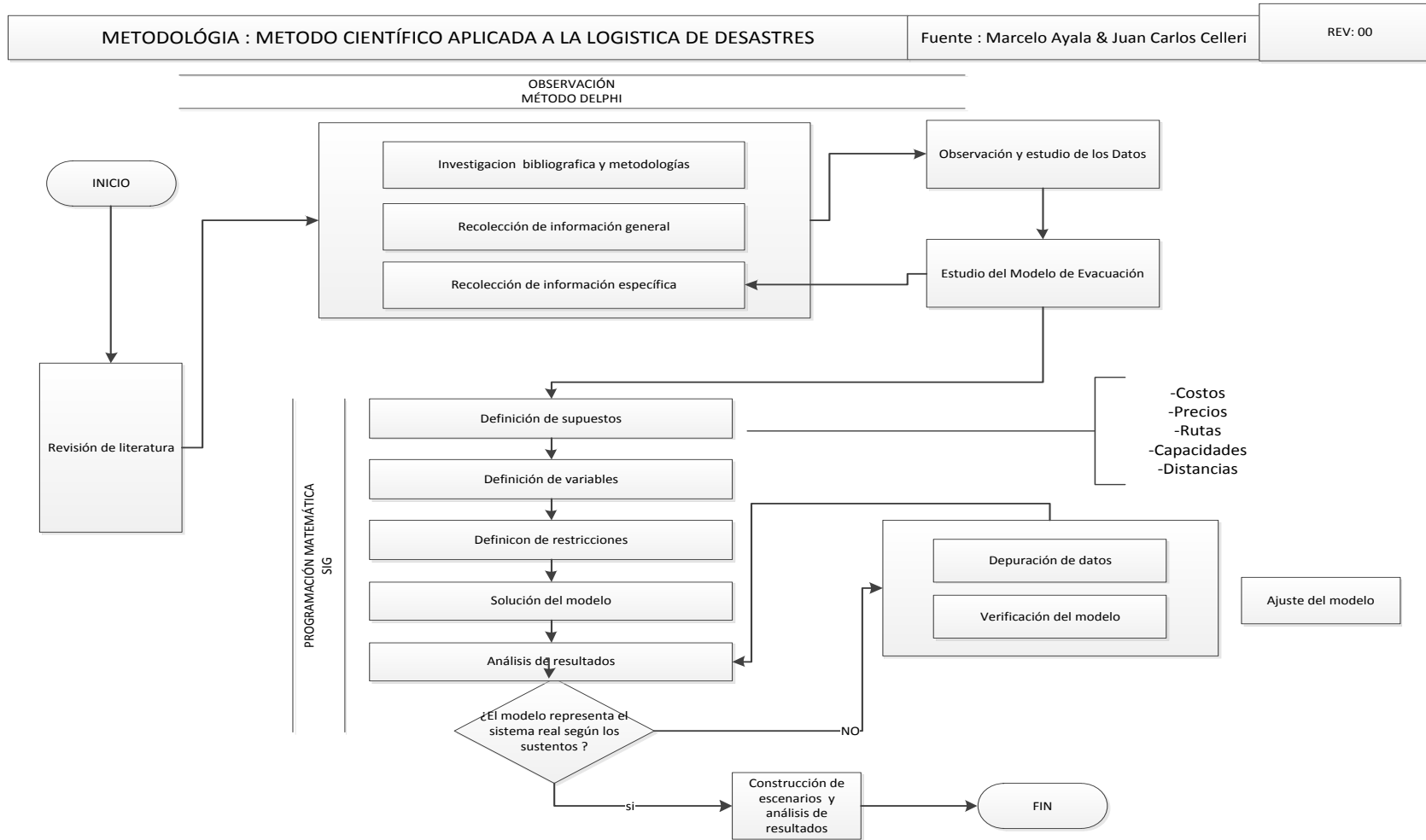
Munshiganj District of Bangladesh. Obtenido de www.a-a-r-s.org/acrs/proceeding/ACRS2005/Papers/DST3-2.pdf.

- Public Safety Canada . (2011). *Emergency Management Planning Guide*. Montreal : Government of Canada .
- Ramírez, G. (15 de Abril de 2014). Plan de Contingencia Erupción volcán Cotopaxi. (J. Celleri, Entrevistador)
- Robert, J., D'Ercole , R., Pigeon, P., & Serrano, T. (2009). Complejidad, incertidumbre y vulnerabilidad: el riesgo asociado al volcán Cotopaxi en el Valle de los Chillos. *Redalyc*, pp. 709-733.
- Rodas, H. A. (29 de Marzo de 2012). EL HOMBRE CAUSA DESASTRES. *El Mercurio* .
- Román, M. (2006). *Plan de prevención para emergencias por desastres naturales en la provincia de pichincha, su organización y aplicación en la educación básica en la próxima década*. Quito: Curso superior de seguridad nacional y desarrollo.
- Rosero, R. (8 de Marzo de 2014). Plan de Contingencia Volcán Cotopaxi . (J. Celleri, Entrevistador)
- Rottkemper, B., Fischer, K., Blecken, A., & Danne, C. (2011). Inventory relocation for overlapping disaster settings in humanitarian operations. *OR Spectrum*, 721-749.
- Rumiñahui Gobierno Autónomo Decentralizado Municipal. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Rumiñahui 2012-2025*. Sangolquí.
- Rumiñahui, Gobierno Autónomo de. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Sangolquí.
- Saborido, R., Ruiz, A. B., & Luque, M. (8 de Octubre de 2013). Un nuevo Algoritmo Evolutivo de Optimización multi-objetivo basando en Preferencias WASF-GA. Malaga, España.
- Salazar, D. (2008). *"Percepción de amenazas y riesgos de la población del Valle de los Chillos (Ecuador) frente a una potencial erupción del volcán Cotopaxi"*. Quito.
- Sardi, J. L. (2014). Optimización multi-objetivo Evolutiva a través de un modelo de programación no lineal por metas. *Ingeniería Industrial Actualidad y Nuevas Tendencias* , Vol II, N° 7 ISSN: 1856-8327.
- Silva, L. d. (2011). *Gestión de la logística humanitaria: propuesta de un marco teórico*. Río de Janerio.
- Simpson, N., & Hancock, P. (2009). Fifty years of operational research and emergency. *Journal of the Operational Research Society*, S126 -S139.
- Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres . (2013). *Estandarización de ayuda Humanitaria de Colombia*. Colombia .

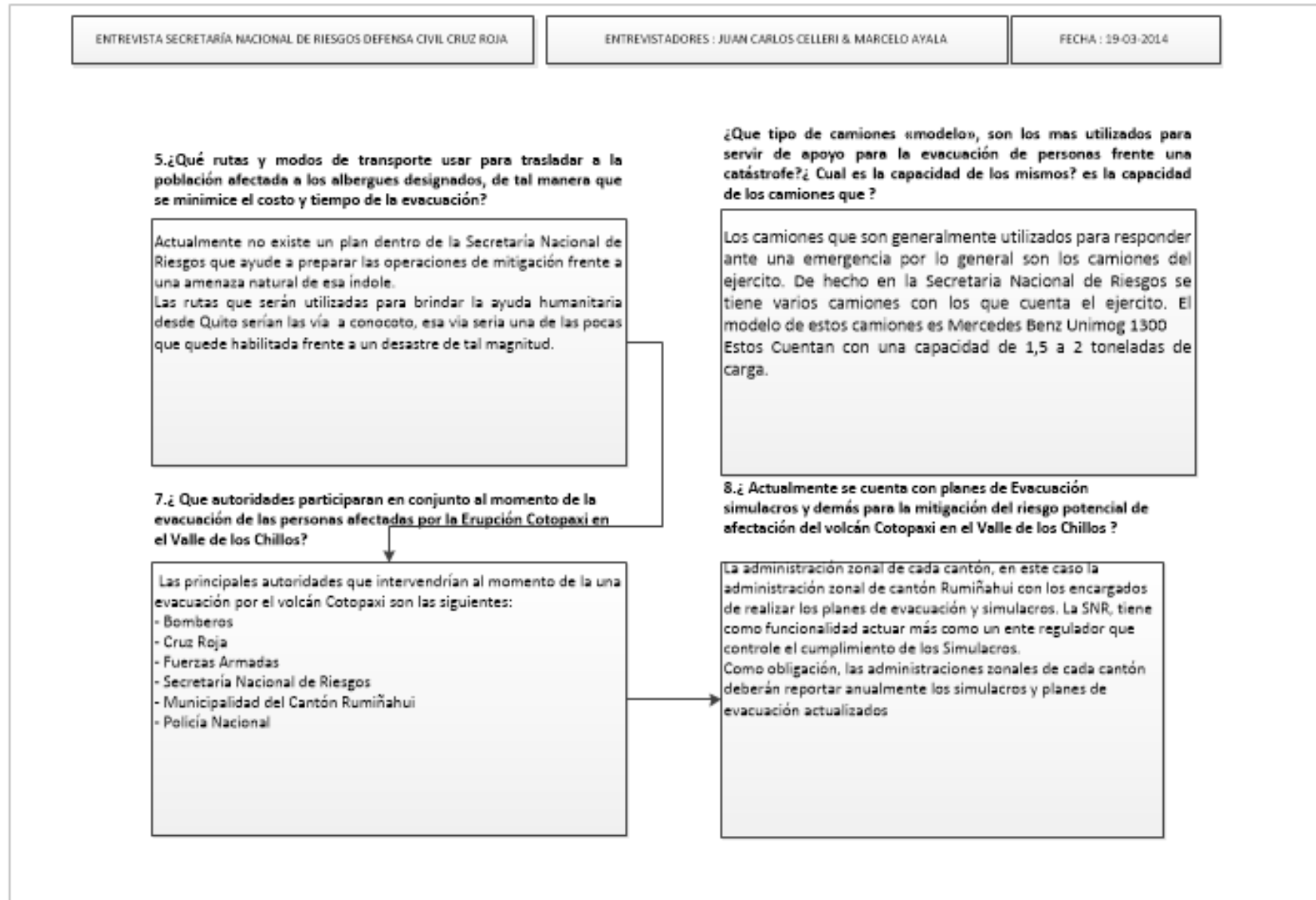
- Souhel, E.-M., & Graham, T. (2002). Natural Disaster, Mitigation and Sustainability: The Caso of Developing Countries. *International Planning Studies*, 157-175.
- Thomas, A., & Kopczak, L. (2005). *From Logistics to Supply Chain Managment: The Path Forward in the humanitaria Sector*. Fritz Institute.
- Tomasini, R. M., & Van Wassenhove, L. N. (2009). From preparedness to partnerships: case study research on. *International Transactions in Operations Research*, 549–559. DOI: 10.1111/j.1475-3995.2009.00697.x.
- Toya, H., & Skidmore, M. (2005). Economic Development and Impacts of Natural Dosasters. 1-15.
- Van Wassenhove, L. (2006). Humanitaria aid logistics: supply chain managment in high gear. *Journal of the Operational Research*, 475-489.
- Vazquez, P., Posada, C., & Herrera, T. (14 de Febrero de 2012). MMSPEA2 mejora del SPEA2 para problemas multi-modales: aplicación al RCMPSP. Madrid , España.
- Velásquez Restrepo, P. A., Rodríguez Quintero, A. K., & Jaén Posada, J. S. (2011). *Metodologías cuantitativas para la optimización del servicio de urgencias: una revisión de la literatura*. Bogotá.
- Vittoriano, B., Ortuño, M. T., Tirado, G., & Montero, J. (2011). A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution. *J Glob Optim*, 189-208.
- Waldhauser, F., & Schaff, D. (2008). Large-scale relocation of two decades of Northern California seismicity using cross-correlation and double-difference methods. *Jpurnal of Geophysical Research*.
- Westen, C. v. (2001). *Teledetección para el manejo de Desastres*. Netherlands.: International Institute for Geo-Information Science and Earth .

ANEXOS

ANEXO 1: FLUJOGRAMA DE LA METODOLOGIA A UTILIZAR.FUENTE ELABORACIÓN PROPIA.



ANEXO 2: ENTREVISTA REALIZADA A RODRIGO ROSERO



ENTREVISTA SECRETARÍA NACIONAL DE RIESGOS DEFENSA CIVIL CRUZ ROJA

ENTREVISTADORES : JUAN CARLOS CELLERI & MARCELO AYALA

FECHA : 19-03-2014

5.¿Qué rutas y modos de transporte usar para trasladar a la población afectada a los albergues designados, de tal manera que se minimice el costo y tiempo de la evacuación?

Actualmente no existe un plan dentro de la Secretaría Nacional de Riesgos que ayude a preparar las operaciones de mitigación frente a una amenaza natural de esa índole.
Las rutas que serán utilizadas para brindar la ayuda humanitaria desde Quito serían las vía a Conocoto, esa vía sería una de las pocas que quede habilitada frente a un desastre de tal magnitud.

7.¿ Que autoridades participaran en conjunto al momento de la evacuación de las personas afectadas por la Erupción Cotopaxi en el Valle de los Chillos?

Las principales autoridades que intervendrían al momento de la una evacuación por el volcán Cotopaxi son las siguientes:

- Bomberos
- Cruz Roja
- Fuerzas Armadas
- Secretaría Nacional de Riesgos
- Municipalidad del Cantón Rumiñahui
- Policía Nacional

¿Que tipo de camiones «modelo», son los mas utilizados para servir de apoyo para la evacuación de personas frente una catástrofe?¿ Cual es la capacidad de los mismos? es la capacidad de los camiones que ?

Los camiones que son generalmente utilizados para responder ante una emergencia por lo general son los camiones del ejercito. De hecho en la Secretaria Nacional de Riesgos se tiene varios camiones con los que cuenta el ejercito. El modelo de estos camiones es Mercedes Benz Unimog 1300. Estos cuentan con una capacidad de 1,5 a 2 toneladas de carga.

8.¿ Actualmente se cuenta con planes de Evacuación simulacros y demás para la mitigación del riesgo potencial de afectación del volcán Cotopaxi en el Valle de los Chillos ?

La administración zonal de cada cantón, en este caso la administración zonal de cantón Rumiñahui con los encargados de realizar los planes de evacuación y simulacros. La SNR, tiene como funcionalidad actuar más como un ente regulador que controle el cumplimiento de los Simulacros. Como obligación, las administraciones zonales de cada cantón deberán reportar anualmente los simulacros y planes de evacuación actualizados

ENTREVISTA SECRETARÍA NACIONAL DE RIESGOS DEFENSA CIVIL CRUZ ROJA

ENTREVISTADORES : JUAN CARLOS CELLERI & MARCELO AYALA

FECHA : 19-03-2014

1.¿Qué sitios cubren los requisitos de seguridad especificados por Protección Civil y la Cruz Roja para ser utilizados como albergues y centros de distribución ante un escenario de una erupción volcánica del volcán Cotopaxi?

Los sitios que cubren las necesidades y requisitos de seguridad, son todos aquellos sitios que cuenten con los mínimos requerimientos que exige el proyecto esfera.

La Administración zonal de cada cantón es la encargada de definir los puntos seguros junto con el MIES. (Ministerio de Inclusión Social)

- Estar alejados de las zonas de riesgo
- Contar con servicios Básicos de agua Luz
- Disponer de lugares cubiertos.
- Disponer espacio para la colocación de baterías sanitarias-

1.¿Qué zonas de la ciudad resultarían afectadas por los Lahares del volcán Cotopaxi?

La administración zonal de cada cantón tiene un departamento de seguridad y riesgos, ellos tienen definidos los puntos y zonas que serán afectadas dependiendo el riesgo.

Sin embargo por el tipo de riesgo las poblaciones que resultarían mas afectadas son las poblaciones que se encuentran asentadas sobre las orillas del los rios Pita, San Pedro y Santa Clara.

2.¿Qué zonas del Valle de los chillos Resultarían ser las menos afectadas frente a los Lahares del volcán Cotopaxi?

Las zonas que no se encuentren aledañas a los rios. Dado que los lahares descenderían por los flancos del rios Pita, Santa Clara y San Pedro que se originan por el deshielo de los glaciares del volcán, las zonas menos afectadas serian las zonas que no se encuentren cerca de las orillas de los rios. Por lo general las zonas que serian menos afectadas frente a una amenaza serian las zonas que se encuentran en los puntos más altos de la ciudad.

1.¿Cuántos y cuáles albergues y centros de distribución conviene abrir y qué rutas hay que seguir para evacuar a la población, de tal manera que se optimice el costo y tiempo total de evacuación de los residentes afectados por la erupción?

Se deberá abrir todos los albergues que sean necesarios para suplir la necesidad de las personas afectadas. Para esto la administración zonal del canto Rumiñahui tiene informes del porcentaje del crecimiento poblacional para cumplir con la necesidad. En relación a los centros de distribución seria ideal considerar centros de distribución que queden cercanos a las zonas de riesgo y tengan facilidad de acceso en la red vial.

ENTREVISTA SECRETARÍA NACIONAL DE RIESGOS DEFENSA CIVIL CRUZ ROJA

ENTREVISTADORES : JUAN CARLOS CELLERI & MARCELO AYALA

FECHA : 19-03-2014

¿Que tipo de camiones «modelo», son los mas utilizados para servir de apoyo para la evacuación de personas frente una catástrofe? ¿ Cual es la capacidad de los mismos? es la capacidad de los camiones que ?

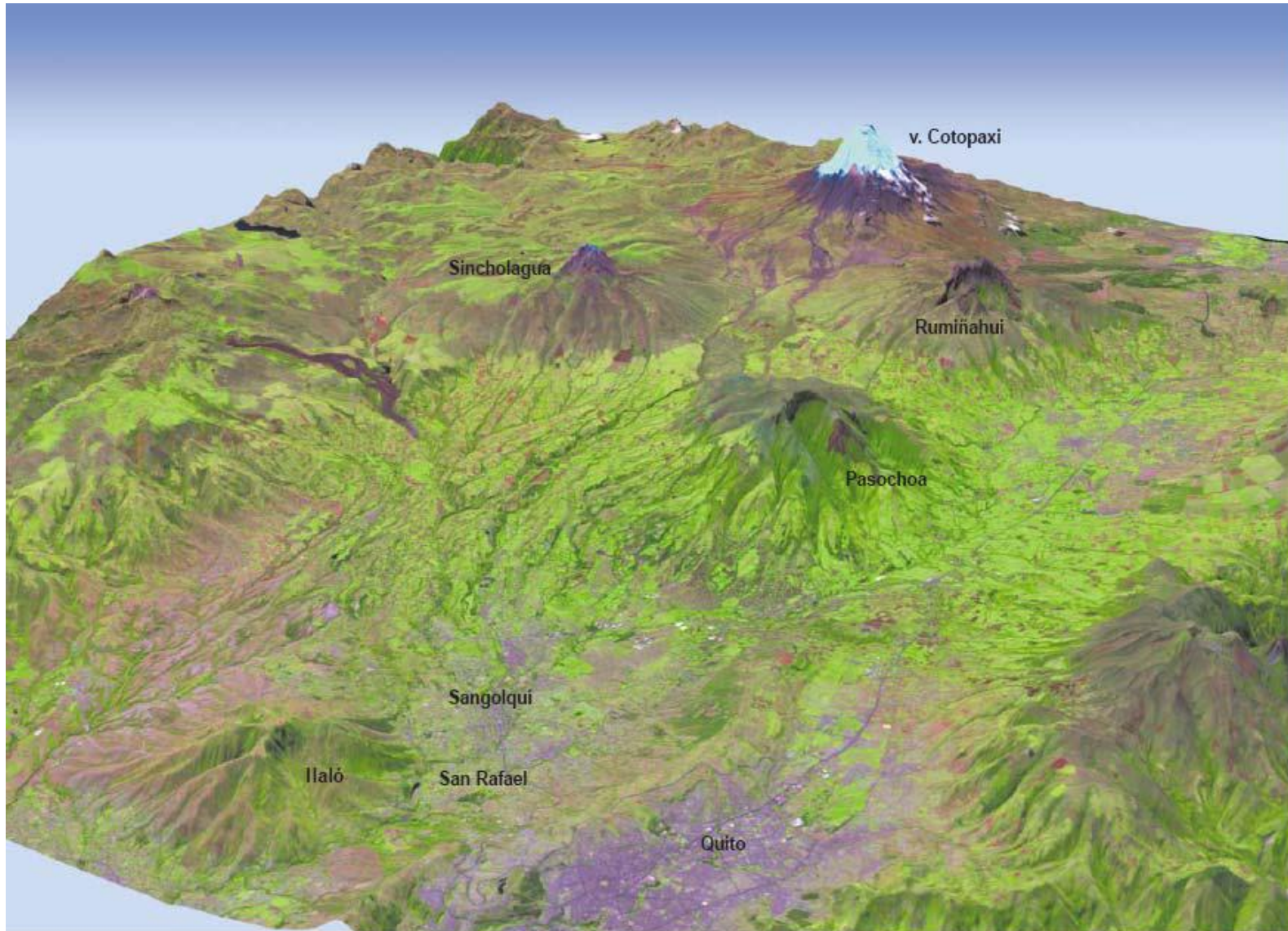
Los camiones que son generalmente utilizados para responder ante una emergencia por lo general son los camiones del ejercito. De hecho en la Secretaria Nacional de Riesgos se tiene varios camiones con los que cuenta el ejercito. El modelo de estos camiones es Mercedes Benz Unimog 1300 Estos Cuentan con una capacidad de 1,5 a 2 toneladas de carga.

¿ Cuanto en promedio cree usted que se debería demorar la evacuación de la población del Valle de los Chillos de los lugares afectados?

No se a realizado simulacros en conjunto de todas las zonas de riesgo. Sin embargo, la evacuación de las personas que serian afectas, debería ser menor al tiempo en que llegarían los lahares a la ciudad.

Según los estudios del Instituto geofísico, el tiempo que se demoraría en llegar un lahar a la ciudad del Valle de los Chillos después de haber atravesado las piscinas y zangas de seguridad realizadas en las laderas del volcán de 45 a 50 minutos.
Por ello la evacuación deberá ser realizada en promedio de 40 minutos, desde la altera.

ANEXO 3: UBICACIÓN DEL VALLE DE LOS CHILLOS CON RESPECTO AL VOLCÁN COTOPAXI. FUENTE: PROYECTO PREVOLCO, 2004



ANEXO 5: RESUMEN DE LUGARES DE AFECTACIÓN SEGÚN SU ZONIFICACIÓN

Zona	Sector	Detalle de peligros asociados al sector
Zona de Riesgo N°1	Zonas de mayor riesgo: COLEGIO FARINA EL TRIANGULO URB. ROBLE ANTIGUO URB. CHIRIBOGA CONDOMINIOS SAN RAFAEL CONJUNTO EL REMANSO SECTOR SAN RAFAEL CONJUNTO VALLE VERDE	-Inundaciones -Lahares -Caída de ceniza -Alto nivel Poblacional
Zona de Riesgo N°2	Zonas de mayor riesgo: URB. SAN LUIS URB. YAGUACHI CONJ. ALBORADA BARRIO SANTA BARBARA RIVER MALL AV. LUIS CORDERO REDONDEL DEL AGUACATE	-Inundaciones -Lahares -Caída de ceniza -Alto nivel Poblacional

Zona de Riesgo N°3	Zonas de mayor riesgo: BARRIO EL PROGRESO AV. LUIS CORDERO EMPRESA ELECTRICA HOSPITAL SANGOLQUÍ DESTACAM. DE POLICIA REDONDEL EL CHOCLO	-Inundaciones -Lahares -Caída de ceniza -Alto nivel Poblacional
Zona de Riesgo N°5	Zonas de mayor riesgo: •REDONDEL DEL CHOCLO •B. LA FLORIDA •AV. JUAN DE SALINAS •B. LOS PINOS •URB. CARLOS OLMEDO ANDRADE •URB. LOS JARDINES •URB. MAG	-Inundaciones -Lahares -Caída de ceniza -Alto nivel Poblacional
Zona de Riesgo N°6	Zonas de mayor riesgo: ▪ URBANIZACIÓN COPEDAC ▪ BARRIO SELVA ALEGRE ▪ CONJUNTO ALCANTARA ▪ CAPILLA CHILLO COMPAÑÍA FABRICA ENKADOR	-Inundaciones -Lahares -Caída de ceniza -Alto nivel Poblacional

ANEXO 8: DISTANCIA ESTIMADA DESDE LOS CENTROS DE DISTRIBUCIÓN A LOS POSIBLES ALBERGUES

Dentro de este anexo se especifica las distintas distancias a los albergues que fueron estimadas mediante la ayuda de la herramienta de Google Maps. Al igual que en el caso de las rutas de evacuación se escogió la ruta que no fuera afectada por los lahares.

Albergues	El Dorado	Parque Industrial Sur	Tumbaco
Colegio la Salle	13.1	12.4	12.9
Instituto Técnico Rumiñahui	12.1	11.5	9.1
Colegio Rumiñahui	12.7	12	11.1
Mercado de San Sebastián	13.2	12.5	11.4
Iglesia del Señor de los Puentes	13.6	9.1	8.5
Iglesia Cruz del Valle	10.1	9.5	8.8
Colegio Vicente Aguirre	10.9	10.5	9.6
Iglesia Central de Sangolquí	12.1	11.5	10.5
Colegio JM 2	12.3	11.7	10.8
Colegio JM 3	12.6	11.9	10.7
Académica militar del valle	9.7	8.35	7.8
AZVCH	10.5	9.8	10.1
Arthur Janov	14.7	13.9	14.1
Fuerte Militar San Jorge	11	10.5	9.5
Educar 2000	15	14.4	14.2
Ecuadorina	15.2	14.6	14.4
Colegio Telmo Hidalgo	11.4	11	10.1
Colegio Lev Vigotsky	12.9	12.3	11.4
Villa Carmen	11.7	11.2	10.7
Hostería Sommer Garden	12.7	12	11
Iglesia El Triángulo	9.5	8.85	9.5

ANEXO 9: DISTANCIA ESTIMADAS DESDE LAS ZONAS DE RIESGO A LOS ALBERGUES

Como ya se mencionó en el capítulo 5, la estimación de los tiempos se realizó mediante un análisis de la capacidad de desplazamiento a pie de la población. La toma de las distancias se realizó con la utilización de la herramienta Google Maps, como se explica en el capítulo 5. Tabla distancia en km:

zonas de riesgo\albergues	Colegio la Salle	Instituto Rumiñahui	Colegio Rumiñahui	Mercado de San Sebastián	Iglesia del Señor de los Puentes	Iglesia Cruz del Valle	Colegio Vicente Aguirre	Iglesia Central de Sangolquí	Colegio JM 2	Colegio JM 3	Academia militar del valle	AZVCH	Arthur Janov	Fuerte Militar San Jorge	Educar 2000	Ecuadorina	Colegio Telmo Hidalgo	Colegio Lev Vigotsky	Villa Carmen	Hostería Sommer Garden	Iglesia El Triángulo
Colegio Farina	5.4	4.4	5	5.5	5.9	2.4	3.2	4.4	4.6	4.9	1.3	2.8	7	3.3	7.3	7.5	3.7	5.2	4	5	1.8
Sector el Triangulo	4.7	3.8	4.3	4.8	1.4	1.8	2.8	3.8	4	4.2	0.65	2.1	6.2	2.8	6.7	6.9	3.3	4.6	3.5	4.3	1.15
Av. General Rumiñahui	5.2	1.4	3.4	3.7	0.8	1.1	1.9	2.8	3.1	3	1.3	2.4	6.4	1.8	6.5	6.7	2.4	3.7	3	3.3	1.8
Av General Enriquez	5.4	1.6	3.6	3.9	1	1.3	2.1	3	3.3	3.2	1.5	2.6	6.6	2	6.4	6.6	1.7	3.9	2.7	3.5	2
Hospital San Rafael	5.4	2.9	3.5	4	1	1.3	2.2	3	2.9	3.1	1.3	2.8	5.4	1.8	6.1	6.2	2.7	3.5	3	3.5	1.8
Urb. Roble antiguo	4.8	5.6	4.4	4.9	0.95	1.3	2.3	3.9	4	4.1	0.7	2.2	6.2	2.5	6.8	6.9	2.8	4.6	3.6	4.4	1.2
Urb. San Luis	6.3	3.7	2.4	2.9	1.4	2.4	2.5	2.1	2.1	2.2	2.8	3.9	4.3	1	4.6	4.8	3	2.7	2	2.6	3
Urb. Yaguachi	6.8	3.1	2.4	2.6	1.8	2.8	3	1.5	1.75	1.7	3.1	5.2	3.9	0.75	3.9	4	3.5	2.7	1.2	2	3.6
Barrio Santa Bárbara	6.1	3.4	2.2	2.6	1.5	2.5	2.6	1.7	1.8	1.85	2.7	4.1	3.1	0.45	3.7	3.9	3	2.4	1.4	2.2	3.2
Rivel Mall	6.4	0.75	1.1	1.6	2.5	3.5	2.2	0.6	0.75	0.8	3.7	4.2	2.9	0.8	3.4	3.5	2.7	1.35	0.3	1.5	4.2
Av. Luis Cordero	6.5	2.2	0.85	1.2	2.7	4	2.5	0.45	0.9	0.8	4.2	4.6	2.6	0.85	3.1	3.3	3.1	1.5	0.15	1	4.5
Redondel el Aguacate	6.6	1.9	0.6	1.1	2.7	3	2.4	0.26	0.75	0.85	4.2	5.6	2.4	1	3	3.1	2.9	1.2	0.1	0.5	5
Barrio el Progreso	4.4	1.8	0.55	1.1	3.1	4.2	2.5	0.4	0.75	0.85	4.3	4.5	2.4	2.1	2.6	2.8	3	1.9	0.25	1	4.8
Hospital de Sangolquí	9.1	1.1	0.35	0.75	3.4	4.5	3.2	0.75	0.8	0.95	4.7	5.1	2	1.6	2.2	2.4	3.7	1.4	0.45	1.25	5.2
Destacamento de la Policía	6.9	1.4	0.65	1.2	3.6	4.6	3	0.9	1.1	1.2	4.8	5	1.9	1.7	3.1	3.3	3.5	2	0.6	1.4	5.3
Sector el Elejido	7.4	1.2	1.5	1.3	5.6	5.9	4.4	1.8	1.8	1.9	7.2	5.9	1.4	2.7	1.9	2.2	4.9	2.4	1.5	2.3	7.8
Polideportivo	7.6	1.4	1.7	1.5	5.8	6.1	4.6	2	2	2.1	7.4	6.1	1.6	2.9	1.1	1.4	5.1	2.6	1.7	2.5	8
Colegio Juan Salinas	6.9	1	0.95	0.95	4.9	5.3	3.5	1.5	1.3	1.4	6.7	5.5	1.2	3.6	1.7	1.9	4	1.9	1.2	2	7.2
Sector la Florida	7.4	0.35	1.7	1.3	6.5	8.3	4.4	2.2	1.9	2	7.3	6.6	0.45	3.1	1.3	1.5	4.6	2.5	2	3	7.8
Barrio Selva Alegre	8.3	2.9	3.3	3.7	6.8	7	5.3	3.2	3.5	3.6	6.9	8.5	1.7	3.7	0.5	0.47	6	3.8	3	3.7	7.4
Capilla Chillo Compañía	9.6	2.3	2.9	3	6.3	7.3	5.7	3.4	3.3	3.4	7.5	7.3	2	5.9	2.2	1.1	6.2	3.9	3.1	4	8
Fabrica Enkador	8.6	3.2	3.6	4	7.1	7.3	5.6	3.5	3.8	3.9	7.2	8.8	3.3	5.7	2.4	2.3	7	4.4	3.3	4	7.7

ANEXO 10: TIEMPO ESTIMADOS DESDE LAS ZONAS DE RIESGO A LOS ALBERGUES (min.)

zonas de riesgo\albergues	Colegio la Salle	Instituto Rumiñahui	Colegio Rumiñahui	Mercado de San Sebastián	Iglesia del Señor de los Puentes	Iglesia Cruz del Valle	Colegio Vicente Aguirre	Iglesia Central de Sangolquí	Colegio JM 2	Colegio JM 3	Academica militar del valle	AZVCH	Arthur Janov	Fuerte Militar San Jorge	Educar 2000	Ecuadorina	Colegio Telmo Hidalgo	Colegio Lev Vigotsky	Villa Carmen	Hostería Sommer Garden	Iglesia El Triángulo
Colegio Farina	86.4	70.4	80	88	94.4	38.4	51.2	70.4	73.6	78.4	20.8	44.8	112	52.8	117	120	59.2	83.2	64	80	28.8
Sector el Triangulo	75.2	60.8	68.8	76.8	22.4	28.8	44.8	60.8	64	67.2	10.4	33.6	99.2	44.8	107	110	52.8	73.6	56	68.8	18.4
Av. General Rumiñahui	83.2	22.4	54.4	59.2	12.8	17.6	30.4	44.8	49.6	48	20.8	38.4	102	28.8	104	107	38.4	59.2	48	52.8	28.8
Av General Enriquez	86.4	25.6	57.6	62.4	16	20.8	33.6	48	52.8	51.2	24	41.6	106	32	102	106	27.2	62.4	43.2	56	32
Hospital San Rafael	86.4	46.4	56	64	16	20.8	35.2	48	46.4	49.6	20.8	44.8	86.4	28.8	97.6	99.2	43.2	56	48	56	28.8
Urb. Roble antiguo	76.8	89.6	70.4	78.4	15.2	20.8	36.8	62.4	64	65.6	11.2	35.2	99.2	40	109	110	44.8	73.6	57.6	70.4	19.2
Urb. San Luis	101	59.2	38.4	46.4	22.4	38.4	40	33.6	33.6	35.2	44.8	62.4	68.8	16	73.6	76.8	48	43.2	32	41.6	48
Urb. Yaguachi	109	49.6	38.4	41.6	28.8	44.8	48	24	28	27.2	49.6	83.2	62.4	12	62.4	64	56	43.2	19.2	32	57.6
Barrio Santa Bárbara	97.6	54.4	35.2	41.6	24	40	41.6	27.2	28.8	29.6	43.2	65.6	49.6	7.2	59.2	62.4	48	38.4	22.4	35.2	51.2
Rivel Mall	102	12	17.6	25.6	40	56	35.2	9.6	12	12.8	59.2	67.2	46.4	12.8	54.4	56	43.2	21.6	4.8	24	67.2
Av. Luis Cordero	104	35.2	13.6	19.2	43.2	64	40	7.2	14.4	12.8	67.2	73.6	41.6	13.6	49.6	52.8	49.6	24	2.4	16	72
Redondel el Aguacate	106	30.4	9.6	17.6	43.2	48	38.4	4.16	12	13.6	67.2	89.6	38.4	16	48	49.6	46.4	19.2	1.6	8	80
Barrio el Progreso	70.4	28.8	8.8	17.6	49.6	67.2	40	6.4	12	13.6	68.8	72	38.4	33.6	41.6	44.8	48	30.4	4	16	76.8
Hospital de Sangolquí	146	17.6	5.6	12	54.4	72	51.2	12	12.8	15.2	75.2	81.6	32	25.6	35.2	38.4	59.2	22.4	7.2	20	83.2
Destacamento de la Policía	110	22.4	10.4	19.2	57.6	73.6	48	14.4	17.6	19.2	76.8	80	30.4	27.2	49.6	52.8	56	32	9.6	22.4	84.8
Sector el Elejido	118	19.2	24	20.8	89.6	94.4	70.4	28.8	28.8	30.4	115	94.4	22.4	43.2	30.4	35.2	78.4	38.4	24	36.8	125
Polideportivo	122	22.4	27.2	24	92.8	97.6	73.6	32	32	33.6	118	97.6	25.6	46.4	17.6	22.4	81.6	41.6	27.2	40	128
Colegio Juan Salinas	110	16	15.2	15.2	78.4	84.8	56	24	20.8	22.4	107	88	19.2	57.6	27.2	30.4	64	30.4	19.2	32	115
Sector la Florida	118	5.6	27.2	20.8	104	133	70.4	35.2	30.4	32	117	106	7.2	49.6	20.8	24	73.6	40	32	48	125
Barrio Selva Alegre	133	46.4	52.8	59.2	109	112	84.8	51.2	56	57.6	110	136	27.2	59.2	8	7.52	96	60.8	48	59.2	118
Capilla Chillo Compañía	154	36.8	46.4	48	101	117	91.2	54.4	52.8	54.4	120	117	32	94.4	35.2	17.6	99.2	62.4	49.6	64	128
Fabrica Enkador	138	51.2	57.6	64	114	117	89.6	56	60.8	62.4	115	141	52.8	91.2	38.4	36.8	112	70.4	52.8	64	123

ANEXO 11: ESTIMACIÓN PERSONAS AFECTADAS POR LAHAR EN CADA ZONA

ZONAS DE RIESGO		Personas Afectadas
ZONA 1	Colegio Farina	345
	Sector el Triangulo	645
	Av. General Rumiñahui	200
	Av General Enriquez	410
	Hospital San Rafael	325
	Urb. Roble antiguo	200
ZONA2	Urb. San Luis	205
	Urb. Yaguachi	135
	Barrio Santa Bárbara	80
	Rivel Mall	85
	Av. Luis Cordero	250
	Redondel el Aguacate	75
ZONA 3	Barrio el Progreso	115
	Hospital de Sangolquí	130
	Destacamento de la Policía	65
ZONA 5	Sector el Elejido	25
	Polideportivo	15
	Colegio Juan Salinas	25
	Sector la Florida	265
ZONA 6	Barrio Selva Alegre	1130
	Capilla Chillo Compañía	265
	Fabrica Enkador	365

ANEXO 12: ESTIMACIÓN CAPACIDAD ALBERGUES Y CENTROS DE DISTRIBUCIÓN JUNTO CON COSTO DE APERTURA

Albergues

Zonas de Riesgo	Capacidad	Costo Fijo Abrir Albergues
Colegio la Salle	650	\$ 1,750.00
Instituto Técnico Rumiñahui	280	\$ 753.85
Colegio Rumiñahui	315	\$ 848.08
Mercado de San Sebastián	600	\$ 1,615.38
Iglesia del Señor de los Puentes	180	\$ 484.62
Iglesia Cruz del Valle	125	\$ 336.54
Colegio Vicente Aguirre	190	\$ 511.54
Iglesia Central de Sangolquí	400	\$ 1,076.92
Colegio JM 2	70	\$ 188.46
Colegio JM 3	260	\$ 700.00
Académica militar del valle	500	\$ 1,346.15
AZVCH	200	\$ 538.46
Arthur Janov	135	\$ 363.46
Fuerte Militar San Jorge	470	\$ 1,265.38
Educar 2000	515	\$ 1,386.54
Ecuadorina	250	\$ 673.08
Colegio Telmo Hidalgo	210	\$ 565.38
Colegio Lev Vigotsky	60	\$ 161.54
Villa Carmen	85	\$ 228.85
Hostería Sommer Garden	40	\$ 107.69
Iglesia El Triángulo	150	\$ 403.85

Centros de distribución

Centro de Dist.	Area	Capacidad almacenaje (m³)	Costo habilitar
El Dorado	12000	1350	6000
Parque Industrial Sur	25000	1500	12500
Tumbaco	8000	1200	4000

ANEXO 13: CÓDIGO UTILIZADO EN AIMMS PARA LA RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

AIN MODEL Main_Logistica_Humanitaria_Los_Chillos

DECLARATION SECTION

```

SET:
  identifier   : CentrosDist
  index       : j ;

SET:
  identifier   : Albergues
  index       : k ;

SET:
  identifier   : ZonasRiesgo
  index       : g ;

SET:
  identifier   : TiposdeProducto
  index       : i ;

MATHEMATICAL PROGRAM:
  identifier   : Minimizacion
  objective    : TiempoYCosto
  direction    : minimize
  constraints  : AllConstraints
  variables    : AllVariables
  type        : Automatic ;

PARAMETER:
  identifier   : CapacidadCD
  index domain : (j) ;

PARAMETER:
  identifier   : CostoAbrirCD
  index domain : (j) ;

PARAMETER:
  identifier   : TiempodeTrasladoesperado
  index domain : (g,k) ;

PARAMETER:
  identifier   : CapacidadAlbergue
  index domain : (k) ;

PARAMETER:
  identifier   : CostoAbilitarAlbergue
  index domain : (k) ;

PARAMETER:
  identifier   : PoblacioZonaRiesgo
  index domain : (g) ;

PARAMETER:
  identifier   : CostodeTransporte
  index domain : (j,k) ;

PARAMETER:
  identifier   : FactorPaquetes
  index domain : (i) ;

PARAMETER:
  identifier   : CostoAdquisicionProducto
  index domain : (i) ;

```

PARAMETER:
 identifier : VolumenProducto
 index domain : (i) ;

VARIABLE:
 identifier : PersonasZonasaAlbergues
 index domain : (g,k)
 range : integer ;

VARIABLE:
 identifier : CantidadCajas
 index domain : (j,k,i)
 range : integer ;

VARIABLE:
 identifier : AperturaAlbergue
 index domain : (k)
 range : binary ;

VARIABLE:
 identifier : AperturaCD
 index domain : (j)
 range : binary ;

VARIABLE:
 identifier : AtencionCDaAlbergues
 index domain : (j,k)
 range : binary ;

VARIABLE:
 identifier : CostoTotal
 range : free
 definition :

$$\text{sum}[(j, \text{CostoAbrirCD}(j) * \text{AperturaCD}(j)] + \text{sum}[(j, k, \text{Costo de Transporte}(j, k)] * \text{sum}[(j, k, i), \text{VolumenProducto}(i) * \text{CantidadCajas}(j, k, i)] + \text{sum}[(j, k, i), \text{CantidadCajas}(j, k, i) * \text{CostoAdquisicionProducto}(i)] + \text{sum}[(k), \text{AperturaAlbergue}(k) * \text{CostoAbilitarAlbergue}(k)] ;$$

VARIABLE:
 identifier : TiempoTotal
 range : nonnegative
 definition :

$$\text{sum}[(g, k), \text{PersonasZonasaAlbergues}(g, k) * \text{Tiempose de Trasladoesperado}(g, k)] ;$$

VARIABLE:
 identifier : TiempoyCosto
 range : free
 definition : $0.9 * \text{CostoTotal} + 0.1 * \text{Tiempose de Trasladoesperado}$;

CONSTRAINT:
 identifier : CdCantidadEnviada
 index domain : (j)
 definition :

$$\text{sum}[(k, i), \text{VolumenProducto}(i) * \text{CantidadCajas}(j, k, i)] \leq \text{CapacidadCD}(j) * \text{AperturaCD}(j) ;$$

CONSTRAINT:
 identifier : AlbergueCantidadRfugiados
 index domain : (k)
 definition :

$$\text{sum}[(g), \text{PersonasZonasaAlbergues}(g, k)] \leq \text{CapacidadAlbergue}(k) * \text{AperturaAlbergue}(k) ;$$

CONSTRAINT:
 identifier : CantidadMinimaCD
 index domain : (j)
 definition :

$$\text{sum}[(k, i), \text{VolumenProducto}(i) * \text{CantidadCajas}(j, k, i)] \geq 0.10 * \text{CapacidadCD}(j) * \text{AperturaCD}(j) ;$$

CONSTRAINT:


```

        identifier : CantidadMinimaAlbergues
        index domain : (k)
        definition :
sum[ (g) , PersonasZonasaAlbergues (g, k) ] >= 0.95 * CapacidadAlbergue (k) * AperturaAlbergue (k)
;

CONSTRAINT:
    identifier : EvacuacionTotal
    index domain : g
    definition : sum[ k, PersonasZonasaAlbergues (g, k) ] = PoblacioZonaRiesgo (g) ;

CONSTRAINT:
    identifier : RequerimientoMinAlbergues
    index domain : (k)
    definition :
sum[ (g) , PersonasZonasaAlbergues (g, k) ] >= 0.1 * CapacidadAlbergue (k) * AperturaAlbergue (k)
;

CONSTRAINT:
    identifier : KitsNecesarios
    index domain : (k, i)
    definition :
sum[ (g) , PersonasZonasaAlbergues (g, k) ] <= sum[ (j) , FactorPaquetes (i) * CantidadCajas (j, k, i) ] ;

CONSTRAINT:
    identifier : CDaAlbergues
    index domain : (k)
    definition : sum[ (j) , AtencionCDaAlbergues (j, k) ] <= AperturaAlbergue (k) ;

CONSTRAINT:
    identifier : FlujoCDaAlbergue
    index domain : (k, j)
    definition :
sum[ (i) , CantidadCajas (j, k, i) ] <= 1000000 * AtencionCDaAlbergues (j, k) ;

ENDSECTION ;

PROCEDURE
    identifier : MainInitialization

ENDPROCEDURE ;

PROCEDURE
    identifier : MainExecution
    body :
        solve Minimizacion;

ENDPROCEDURE ;

PROCEDURE
    identifier : MainTermination
    body :
        return DataManagementExit();

ENDPROCEDURE ;

ENDMODEL Main_Logistica_Humanitaria_Los_Chillos ;

```

ANEXO 14: INFORMACIÓN ACERCA DE LOS PAQUETES DE PRODUCTOS ENVIADOS

tipos de producto	volumen (m³)	costo	factor conversion
Paquete alimentos	0.024	\$ 60.00	4
Paquete Medicinas	0.0435	\$ 169.27	40
Paquete Abrigo	0.6	\$ 12.00	4

El factor de conversión está relacionado con la cantidad de personas que se ven beneficiadas de los productos dentro del paquete. Por ejemplo cuatro personas se pueden alimentar del paquete de alimentos.

ANEXO 15: MODELAMIENTO DEL PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN LA INTERFAZ DE AIMMS

