





## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>9. EVALUACIÓN DE RIESGOS.....</b>	<b>9-1</b>
<b>9.1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9-1</b>
9.1.1 CONSIDERACIONES GENERALES .....	9-1
9.1.2 METODOLOGÍA .....	9-2
<b>9.2 RIESGOS NATURALES .....</b>	<b>9-2</b>
9.2.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS RIESGOS DEL DMQ .....	9-2
9.2.2 RIESGOS SÍSMICOS .....	9-4
9.2.3 RIESGOS VOLCÁNICOS .....	9-12
9.2.4 RIESGOS POR INUNDACIONES.....	9-14
9.2.5 FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA .....	9-14
9.2.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	9-18
<b>9.3 RIESGOS SOCIALES.....</b>	<b>9-18</b>
<b>9.4 RIESGOS DEL PROYECTO AL AMBIENTE .....</b>	<b>9-19</b>
9.4.1 INCENDIOS .....	9-19
9.4.2 FUGAS Y DERRAMES .....	9-19
9.4.3 GENERACIÓN DE RESIDUOS .....	9-19
9.4.4 AFECTACIONES BIOLÓGICAS .....	9-19
<b>9.5 RIESGOS A LA SALUD OCUPACIONAL.....</b>	<b>9-20</b>
9.5.1 OBJETIVO GENERAL .....	9-20
9.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	9-20
9.5.3 EVALUACIÓN DE RIESGOS .....	9-20
9.5.4 ANÁLISIS DE LA MATRIZ DE RIESGOS .....	9-33

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 9.1 Períodos de completitud en el Catálogo Sísmico .....	9-10
Cuadro 9.2 Peligro de flujos de lodo y escombros en la Primera Línea del Metro.....	9-14
Cuadro 9.3 Pendientes y taludes de remoción en masa .....	9-17
Cuadro 9.4 Evaluación de riesgos sociales.....	9-19
Cuadro 9.5 Tipos de riesgos.....	9-20
Cuadro 9.6 Naturaleza del impacto.....	9-21
Cuadro 9.7 Probabilidad de ocurrencia.....	9-21

Cuadro 9.8 Magnitud del riesgo.....	9-21
-------------------------------------	------

Cuadro 9.9 Matriz de riesgos ambientales Proyecto Primera Línea del Metro de Quito .....	9-22
--	------

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 9.1: Escalones climáticos.....	9-3
Figura 9.2: Mapa climático de Quito.....	9-3A
Figura 9.3: Mapa de sismos .....	9-7A
Figura 9.4: Volcanes alrededor de Quito .....	9-13A
Figura 9.5: Riesgo Preparación de escombreras.....	9-29
Figura 9.6: Riesgo Adecuación y uso de campamentos.....	9-29
Figura 9.7: Riesgo Abastecimiento Agua, Energía y Servicios.....	9-29
Figura 9.8: Riesgo Transporte y almacenaje de materiales.....	9-30
Figura 9.9: Riesgo Movimiento de tierra.....	9-30
Figura 9.10: Riesgo Obras civiles.....	9-30
Figura 9.11: Riesgo retiro, transporte y disposición de escombros .....	9-30
Figura 9.12: Riesgo equipamiento.....	9-31
Figura 9.13: Riesgo puesta en funcionamiento .....	9-31
Figura 9.14: Riesgos conservación y mantenimiento .....	9-31
Figura 9.15: Riesgos conservación y mantenimiento .....	9-31
Figura 9.16: Riesgos Abastecimiento .....	9-32
Figura 9.17: Riesgos Generación de desechos .....	9-32
Figura 9.18: Riesgos Retiro de equipo e instalaciones.....	9-32
Figura 9.19: Riesgos Limpieza y rehabilitación .....	9-32
Figura 9.20: Riesgos retiro y/o Reubicación de infraestructura y propiedades.....	9-33
Figura 9.21: Riesgos Adecuación y uso de patio de maquinarias e instalaciones auxiliares .....	9-33



## 9. EVALUACIÓN DE RIESGOS

### 9.1 INTRODUCCIÓN

#### 9.1.1 Consideraciones generales

En el presente Estudio de Impacto Ambiental, se procedió con un diagnóstico de peligros y amenazas naturales y una evaluación de riesgos, obteniéndose como resultado la identificación y ubicación de los riesgos más probables. Para este estudio también se consideró necesario realizar una evaluación de riesgos a la salud e integridad de los trabajadores, equipos, maquinarias e instalaciones.

De acuerdo a lo que manifiesta TULSMA en el libro VI de la Calidad Ambiental, riesgo ambiental es el peligro potencial que afecta al medio ambiente, los ecosistemas, la población y o sus bienes, derivado de la probabilidad de ocurrencia y severidad del daño causado por accidentes o eventos extraordinarios asociados con la implementación y ejecución de una actividad o proyecto propuesto.

A estos fines se define peligro como aquel evento físico, fenómeno o actividad humana potencialmente perjudicial, pudiendo causar la pérdida de vidas o lesiones, daños a la propiedad, alteración económica y social o degradación ambiental.

Riesgo es definido como la combinación de la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de un peligro definido y la magnitud de las consecuencias de dicha ocurrencia. Más específicamente, riesgo es definido como la probabilidad de consecuencias dañinas o pérdidas esperadas (de vidas, gente lesionada, propiedades, calidad de vida, actividad económica alterada, ambiente dañado) como resultado de la interacción entre los peligros naturales o los inducidos por el hombre.

Una vez que estos riesgos han sido identificados, su eliminación o su mitigación formarán la base de la planificación del proyecto, incluyendo su minimización a través de diseños apropiados, planos e ingeniería del proyecto. Los riesgos identificados forman también la base del Plan de Manejo Ambiental y la planificación de contingencias.

La ciudad de Quito sufre de amenazas sísmicas, volcánicas e hidrometeorológicas, unas con mayor intensidad que otras, ocasionando modificaciones geomorfológicas, económicas y sociales que influyen a escala local.

Una amenaza natural se convierte en un desastre debido a condiciones subyacentes como la vulnerabilidad social, física, económica e institucional. Un país como Ecuador puede verse expuesto a eventos tales como: inundaciones, sismos, actividad volcánica, deslizamientos, entre otros.

En el Distrito Metropolitano de Quito, las amenazas más frecuentes son los deslizamientos e inundaciones, producto del Cambio Climático, de la expansión de la frontera urbana y agrícola a los páramos y bosques protectores, además de los asentamientos humanos en sitios no aptos para su habitabilidad. La demanda de espacios habitables por el incremento demográfico en el DMQ, pone en aprietos las perspectivas planificadas en el ordenamiento urbano sobre todo en la última década, lo que incrementa los riesgos de la población.

Las amenazas y vulnerabilidades deben ser debidamente caracterizadas para contar con información actualizada, integrada y consistente y poder planificar, articular y proseguir con estudios de riesgo para alcanzar su adecuada gestión. Los procesos inadecuados de desarrollo de la ciudad, manifestados por la ocupación del suelo en forma desordenada, conjuntamente con una continua degradación ambiental, conllevan a una elevada amenaza territorial, caracterizada por un incorrecto emplazamiento de las actividades antropogénicas, las que limitan el desarrollo territorial con consecuencias impredecibles.

Los desastres no obedecen a hechos fortuitos y casuales, sino a un incorrecto manejo de los componentes descritos. Es necesario realizar estudios de las amenazas naturales como un componente determinante para la disminución de los probables desastres y así estar prevenidos en caso de eventos adversos. Los estudios de riesgos y desastres que se han llevado a cabo en el DMQ, están relacionados principalmente con amenazas volcánicas, sísmicas, movimientos en masa e inundaciones, los cuales tienen directa relación con el Cambio Climático, considerando que el riesgo es el resultado entre la amenaza, la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta, tanto de las instituciones competentes, como de la comunidad en general. Es importante reducir estas variables con el fin de disminuir los riesgos y arribar a su eficiente y eficaz gestión. Por lo tanto, este capítulo estará enfocado al estudio de las amenazas y susceptibilidades a que se encuentra expuesto el DMQ.

#### Objetivo general

- Identificar las amenazas naturales que pueden afectar al proyecto.
- Identificar y evaluar los riesgos sobre la seguridad industrial y salud ocupacional de los trabajadores e instalaciones del proyecto.

#### Objetivos específicos

- Mediante la recopilación de información existente y estudios realizados para el Distrito Metropolitano de Quito y con el aporte de profesionales expertos en este tema, realizar una identificación de amenazas de origen natural sobre las instalaciones, actividades de construcción y operación del Metro.
- Mediante el uso de una matriz de riesgos, definir riesgos potenciales que se pueden generar durante la realización de las actividades propuestas para este Proyecto.



- Tomar en cuenta los resultados del diagnóstico de riesgos potenciales para el diseño de medidas de prevención y mitigación a ser incluidas en el Plan de Manejo Ambiental de este Estudio de Impacto Ambiental.
- Informar al personal sobre los riesgos y las medidas dispuestas para su control y minimización.

El diagnóstico de riesgos potenciales tiene como alcance el identificar y evaluar cualitativamente los potenciales peligros que los elementos ambientales pueden ejercer sobre el proyecto, su infraestructura y operación; así como los riesgos que estos pueden significar para el ambiente

### 9.1.2 Metodología

Para el análisis se emplearon distintas metodologías partiendo de una matriz de evaluación de riesgos para las fases de construcción, operación, mantenimiento, cierre y abandono del proyecto metro Quito.

El diagnóstico contempla principalmente los peligros y amenazas presentes en el área de influencia directa del proyecto y aquellos más destacados en el área de influencia indirecta e incluso regional.

La evaluación de riesgos se realizó mediante la aplicación de una matriz para identificar los riesgos significativos y realizar una investigación cualitativa de las probabilidades de ocurrencia.

A continuación se detallan los riesgos, los cuales han sido agrupados en: riesgos naturales y riesgos antrópicos. Los naturales se refieren a los riesgos sísmicos, volcánicos, inundaciones y a los fenómenos de remoción en masa. Los riesgos antrópicos están referidos fundamentalmente a los riesgos sociales y de salud ocupacional.

## 9.2 RIESGOS NATURALES

La ciudad de Quito está situada en un valle entre las cordilleras occidental y oriental de los Andes, asentada sobre la falla tectónica de piedemonte de la Cordillera Occidental, rodeada de volcanes. En los últimos 500 años ha sido afectada por sismos, erupciones volcánicas, movimientos de masa, inundaciones e incendios forestales, que han dejado pérdidas incalculables en las edificaciones del Centro Histórico, en la infraestructura y en los bosques aledaños de la ciudad.

### 9.2.1 Factores que influyen en los riesgos del DMQ

Conforme se contempla en el Atlas de Amenazas Naturales del DMQ que fue generado por el Municipio de Quito, los factores que influyen en los riesgos del DMQ se definen de la siguiente manera:

### CLIMA

El clima de la Serranía Ecuatoriana es variable debido a su orografía, topografía y a la presencia de muchos microclimas que existen en la ciudad; la circulación de los vientos fluyen por los valles y llanuras y es muy susceptible a la influencia de las corrientes marinas, como la cálida de El Niño y la fría de Humboldt, así como de los vientos provenientes de la Región Amazónica, cuya presencia determina en gran medida la variabilidad climática. Por estar ubicado el DMQ en la serranía ecuatoriana, cuenta con un clima de tipo ecuatorial. Tiene dos estaciones: la lluviosa y la seca (existen fases críticas de estiaje), que se caracterizan en función al régimen pluviométrico. Cabe mencionar que en la actualidad estos períodos temporales han variado en intensidad, duración y también en frecuencia, debido a efectos del cambio climático global y local.

### PRECIPITACIÓN

El factor meteorológico más relevante del clima en el DMQ son las precipitaciones (lluvia), cuyas fluctuaciones están condicionadas al comportamiento de los patrones meteorológicos que inciden en el Ecuador y especialmente en el DMQ. Para la definición de las épocas del año (lluviosa y seca), debido a su relieve (altura), las precipitaciones máximas se dan al sur y van decreciendo hacia el norte, siendo su gradiente norte – sur, aproximadamente de 21 mm/km, las intensidades máximas están alrededor de 43 mm/h en 30 minutos, y llueve un promedio de 172 días al año. El régimen de las lluvias tiene las características de clima ecuatorial pero con una forma de distribución e intensidad diferentes, geográficamente y en el tiempo. Se distinguen tres zonas:

**Zona Seca Interandina:** comprende los valles bajos de San Antonio de Pichincha, Calderón, Guayllabamba entre 1.500 a 2.800 msnm, con períodos de lluvias de septiembre a noviembre; menos lluviosos de diciembre a abril; y, período seco de mayo a agosto, etapa en la cual la lluvia es nula y las temperaturas son altas. El promedio anual de precipitaciones es de 554 mm.

**Zona Interandina:** con alturas entre 2.400 a 3.100 msnm; las características orográficas juegan un papel importante y decisivo en la distribución y magnitud de las lluvias. Comprende las zonas de Cumbayá, Tumbaco, Puenbo, Pifo, Yaruquí, El Quinche, Checa, Nono, Calacalí, Nayón, Zámiza, Lloa y la ciudad de Quito. Tiene un período lluvioso de octubre a abril y seco de mayo a septiembre. Su promedio anual de precipitaciones es de 960 mm.

**Zona Lluviosa Interandina:** comprende las zonas de Pintag y la Cordillera Occidental; el período lluvioso es de septiembre a abril y la época seca se da, especialmente, entre mayo y agosto. El promedio de precipitación anual es de 1.400 mm.

### TEMPERATURA

La temperatura media en el territorio del DMQ es de 14,5°C; sin embargo, las fluctuaciones son diarias, la media mínima es de 9,6°C y la media máxima es de 21 °C. La humedad relativa es de 73% anual. La heliofanía es de 4 a 5 horas por día. El viento al norte de la ciudad tiene una velocidad media de 3,0 m/seg y decrece hacia el centro

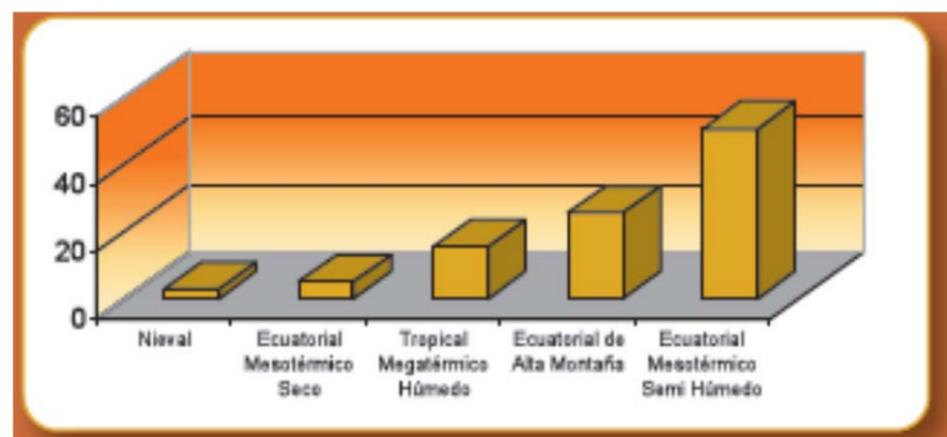
hasta 0,7 m/seg. En las vertientes oriental y occidental del Callejón Interandino se registran temperaturas medias inferiores a los 10°C; por esta razón, la agricultura se interrumpe a 3.200 msnm en el primer caso y a 3.400 msnm en el segundo.

En el área del valle de Los Chillos, la explanada de Puembo, Pifo, Yaruquí, Checa y El Quinche, las temperaturas medias anuales fluctúan entre 10°C y 16°C. En el área de Calderón y San Antonio de Pichincha, varía entre 16°C y 18°C.

En el DMQ, se definen los siguientes climas conocidos como pisos o escalones climáticos:

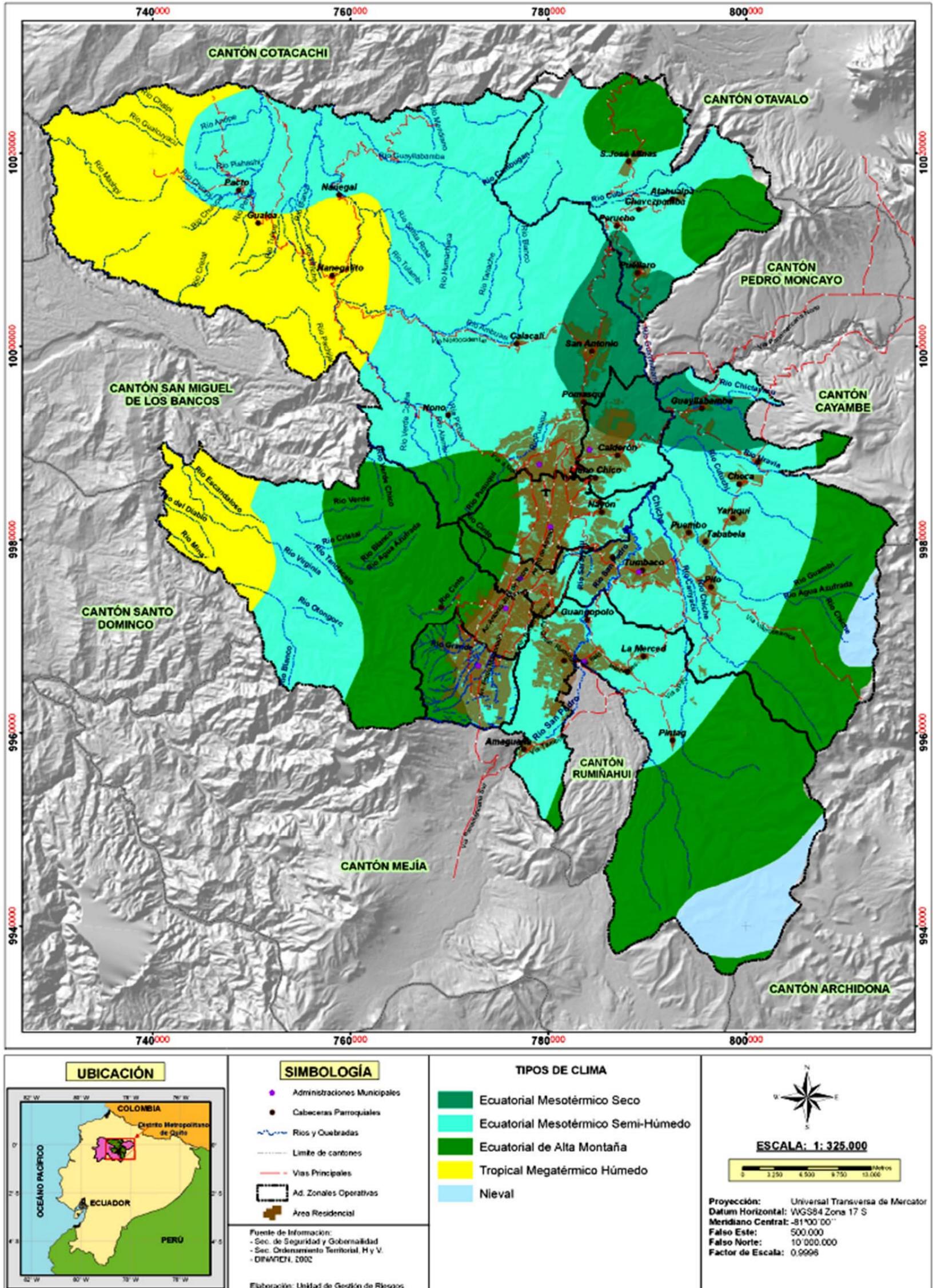
**Figura 9.1: Escalones climáticos**

Nº	TIPOS DE CLIMA	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)
1	Nival	11.936,97	2,84
2	Ecuatorial Mesotérmico Seco	21.942,57	5,22
3	Tropical Megatérmico Húmedo	65.554,49	15,59
4	Ecuatorial de Alta Montaña	107.283,73	25,52
5	Ecuatorial Mesotérmico Semi Húmedo	213.682,24	50,83
TOTAL		420.400,00	100,00



Fuente: Dinaren, 2002

Figura 9.2: Mapa climático de Quito



Fuente: Unidad de Gestión de Riesgos



De igual manera se consideran otros factores de riesgo importantes como la hidrología densa y compleja que atraviesa la ciudad, el relieve, la geología que estructuralmente está compuesta por sistemas de fallas superficiales y profundas a lo largo de toda la ciudad.

### 9.2.2 Riesgos sísmicos

La empresa Metro de Quito, dentro de los estudios de Diseño Definitivo de la obra civil para la Primera Línea de Metro de Quito, mantiene en el Tomo VII del Anejo 4 un Estudio de Efectos Sísmicos en donde se muestran de manera específica algunas proyecciones realizadas con la finalidad de identificar el riesgo sísmico en el trazado de la línea.

A continuación se muestran la identificación general de riesgos sísmicos para el proyecto. Debido a que fenómenos como los terremotos obedecen a causas que son activas desde hace millones de años, su ocurrencia puede considerarse como una variable estacionaria en el tiempo; es decir, donde han ocurrido grandes terremotos es probable que en el futuro ocurran otros de magnitud similar.

Quito se encuentra atravesado por un sistema de fallas, que se inicia a la altura de la población de Tambillo al sur y avanza hacia el norte hasta San Antonio de Pichincha, definiendo un trazado de 47 a 50 km de longitud. Morfológicamente está representado por las colinas de Puengasí, Lumbisí, el Batán – La Bota y Bellavista – Catequilla. Estas colinas son el resultado superficial de fallamiento de tipo inverso, que no alcanza la superficie pero que pliegan las capas formando estas colinas. Para la falla de Quito, el bloque sobre el que se asienta la ciudad se levanta aproximadamente a 400 m con respecto al valle interandino. Este es un caso típico de fallas ocultas, pero que muestran actividad sísmica constante en el tiempo<sup>1</sup>; teniendo la ciudad de Quito la mayor complicación, por hallarse construida sobre su propia falla geológica, expuesta a altas vibraciones y, a ser afectada por sismos superficiales.

Históricamente, la ciudad de Quito ha sido afectada por sismos de gran magnitud, los de 1541, 1587, 1755, 1797, 1859 y 1868, causaron víctimas y daños. En 1868, un sismo de 8,8 grados Richter destruyó la ciudad costera de Esmeraldas y causó muertes y destrucción de viviendas, iglesias y conventos en la capital del país, cuando existía menos población y estaba menos desarrollada que en la actualidad. El sismo de 1987, con epicentro en la región amazónica y una magnitud de 5,6 grados Richter en Quito, causó fisuras en cúpulas y torres de las iglesias La Merced, San Agustín y El Belén, afectó a 150.000 personas y se calcularon daños por USD 700 millones.

### Descripción de los sismos importantes

Sismos importantes que han ocurrido en la zona de influencia del proyecto han tenido efectos catastróficos sobre la población y las construcciones en Quito. A continuación se describen en orden cronológico incluyendo los principales efectos ocasionados a las personas y edificaciones, y en lo posible se discute su relación con la tectónica de la región. Las intensidades reportadas corresponden a la escala MSK, a menos que se indique lo contrario.

#### **Sismo de 1541**

Es el primer evento que aparece en los catálogos sísmicos del país, parece tener relación con alguno de los rasgos neotectónicos que cruzan al oriente de los páramos del Cerro Puntas y relacionado con las estructuras activas del sistema Chingual. En la primavera del año 1541 se produjo un terremoto muy fuerte que asoló a la provincia de Quijos, en las cercanías del volcán Antisana (Wolf, 1892). El catálogo de sismos asigna a este evento una intensidad máxima de 8K. Siendo la información tan escasa, lo único que se puede sospechar es que este evento pudo haberse generado en las ramificaciones de la falla Chingual o en cualquiera de sus ramales que se prolongan hacia la zona de Papallacta, pudiendo ser similar al terremoto de 1987 (UCE-Petrotransporte, 1991; Egeuz y Yepes, 1993).

#### **Sismo de 1587**

El terremoto de 1587 puede tener mucha significación para el proyecto. Según descripción de la época, se abrió la tierra en pueblos cercanos a Quito: "En otro pueblo llamado Guayllabamba murieron dos españoles y no quedo casa que no se asolase y el corregidor de allí me informo que veía hervir la tierra y derribarse algunos cerros y abrirse en algunas partes la tierra..." (Ceresis, 1985). Similares efectos ocurrieron en poblaciones como Pomasqui, Puéllaro, Malchinguí y Otavalo. En el mismo sismo, las iglesias con que contaba la ciudad de Quito sufrieron daños de consideración. En Quito se reportó un daño notable en la torre y campanario de la Catedral, grandes daños en San Agustín, colapso de la iglesia y averías en los claustros de Santo Domingo, aberturas en la torre y daños en la iglesia y el convento de San Francisco y daños grandes en la Merced. La intensidad de este evento en Quito pudo haber llegado a ocho MSK (Del Pino y Yepes, 1990). Es muy posible que una de las fallas activas del área Noroccidental, tales como la de Apuela o de Catequilla sean las responsables de este terremoto (Egeuz y Yepes, 1993).

#### **Sismo de 1627**

El sismo del 26 de junio de 1627 fue suficientemente fuerte como para afectar al Palacio de la Audiencia y otras casas en Quito, sin embargo, no se reportan daños al norte de la ciudad ni en otros lugares, por lo que es difícil atribuirle una fuente generadora, a no ser que sea la misma falla de Quito (Egeuz y Yepes, 1993). Este sismo debió tener una intensidad en Quito de VII (Del Pino y Yepes, 1990).

<sup>1</sup> Breves Fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador. Francisco Ribadeneira, Mónica Segovia, Alexandra Alvarado, José Egred, Liliana Troncoso, Sandro Vaca, Hugo Yépez. IG – EPN



### Sismo de 1661

En 1660, posterior a la importante erupción del Pichincha, o tal vez a inicios del 1661, se produjo un fuerte sismo que ocasionó grandes derrumbes en el volcán Sincholagua y algunos estragos en Quito. Los derrumbes, calificados por algunos historiadores como catastróficos por el desplome de la cumbre del volcán (Cevallos, 1851), generaron flujos de escombros y de lodo que arrasaron los valles de Los Chillos y Tumbaco. González Suárez (1880) atribuye equivocadamente el origen de este sismo al volcán Pichincha, de lo que se hacen eco muchos historiadores. Tampoco es real el hecho de atribuir al derrumbe el temblor sentido en Quito, pues aquel constituye el efecto, más no la causa del fenómeno. La fuente natural para un fenómeno de esta naturaleza en el Sincholagua debe localizarse muy cercana a él, por lo que, su origen debe estar relacionado con la prolongación del sistema dextral hacia el suroccidente del nevado Antisana (Yepes et al, 1994). Su intensidad en Quito es de VI-VII (Del Pino y Yepes, 1990).

### Sismo de 1755

El terremoto de 1755 ha sido catalogado por Wolf (1892) como el más destructivo que ha sufrido Quito a través de su historia. En aquel evento, los daños fueron igualmente generales en las iglesias y conventos quiteños, destacándose el colapso total de la iglesia de Santa Catalina y daños generalizados en torres, cúpulas y muros de la Catedral, San Agustín, Santo Domingo, San Francisco, La Merced y El Sagrario. La intensidad en Quito fue la máxima registrada para este terremoto en cualquier punto, implicando que su epicentro se podría haber localizado bajo la ciudad. No se reportan daños en otras localidades. Se lo estimó en el grado nueve MSK (Del Pino y Yepes, 1990). Por esta razón, las únicas posibilidades de fuente para este evento son, primeramente la falla-flexura de Quito, con un sismo muy local, o una falla más lejana que causó también daños a otros poblados, pero de los cuales no se tienen noticias.

### Sismo de 1797

El P. Velasco (1789) estima en más de 40.000 el número de víctimas causadas por este terremoto conocido como de Riobamba, aunque estimaciones más realistas (Ceresis, 1985) dan números menores. De todas maneras, se trata de un evento muy poderoso, con una liberación de energía importante. Hacia el norte, para Quito se presenta una descripción amplia de los efectos producidos. Esta ocasionó muchos estragos en las iglesias de San Agustín, Santo Domingo, San Francisco, La Merced, El Sagrario, la Catedral, el Carmen Alto y Santa Clara, siendo lo más grave la caída parcial de la torre de Santo Domingo y de la Capilla del Robo, daños en las torres de San Agustín y La Merced, en la media naranja de la misma Merced y en las iglesias y claustros de las otras congregaciones. Se estimó en Quito una intensidad de VIII (Del Pino y Yepes, 1990).

Las posibles fuentes sismogénicas podrían ser la falla de Pallatanga, en su segmento más impresionante sobre el Río Pangor, el tramo de empalme con la falla Huambaló, que pondría al evento sísmico muy cerca de la ciudad de Riobamba Antigua, o los segmentos Huambaló o Pisayambo del sistema dextral, que es donde se produjo el terremoto de Ambato de 1949. La magnitud del evento pudo haber sido del orden de 7,5 grados Richter.

### Sismo de 1859

El 22 de marzo de 1859, un sismo muy fuerte averió muchas iglesias en Quito, además del Palacio Presidencial, colegios y muchas casas particulares. Aunque son muy vagas las cifras dadas por los historiadores, el número de víctimas en Quito pudo haber ascendido a 10, mientras que reportes de sitios cercanos como Chillo y Chillotallo, hablan de por lo menos 20 muertos más en una sola hacienda. Por otro lado, en la provincia de Imbabura también se produjeron estragos de mucha consideración. Por la información que se ha podido obtener del estudio de Del Pino y Yepes (1990), el terremoto que parece haber producido los mayores estragos en los monumentos religiosos de la capital es precisamente éste de 1859, al que se le ha asignado una intensidad de nueve grados MSK en Quito. Por la información de otros daños generalizados a lo largo de la parte central del Valle Interandino, se puede pensar que se trata de un sismo relativamente profundo y fuerte en la zona de Benioff, tal vez ubicado entre Quito e Ibarra, a decenas de kilómetros de profundidad (Eguez y Yepes, 1993).

### Sismo de 1868

Las crónicas de la época (El Nacional, 1868) relatan que de lo que fue la floreciente ciudad de Ibarra quedaron únicamente en pie sobre sus cimientos los muros de 200 casas (no techos) y unos 50 edificios permanecían en estado relativamente habitable. Mucho peores fueron, sin embargo, los resultados del terremoto en Otavalo, San Pablo, Atuntaqui y Cotacachi. En Quito, el mismo terremoto produjo nueve víctimas mientras que en Cotacachi y San Antonio el número fue de seis, habiendo quedado todos los templos, conventos y establecimientos públicos de Quito, que en su generalidad eran construidos de cal y piedra, en estado de exigir prontas reparaciones (Eguez y Yepes, 1993). Las características de la destrucción ocurrida indican que el hipocentro del terremoto de 1868 fue superficial y se localizó muy cerca a la ciudad de Cotacachi, habiendo ocurrido un sismo premonitor en la ciudad de El Ángel 12 horas antes. Es muy probable que este evento tuviera su origen en la falla de San Isidro-Otavalo, puesto que la descripción de varios testigos oculares relata que todos los montes y colinas desde el pie del Cotacachi hasta Mira y El Ángel presentan deslizamientos apreciables. La intensidad de este terremoto debió alcanzar la escala de 10 en la amplia zona macrosista.

### Sismo de 1906

Este sismo, ocurrido el 31 de enero de 1906 y localizado en la zona de subducción frente a las costas de Esmeraldas, alcanzó una magnitud de 8,6 y es el más grande registrado en el país y uno de los cinco más grandes en la historia sísmica instrumental del mundo. La zona donde se registró el máximo sacudimiento comprende a Esmeraldas hacia el sur y hacia el norte en Guapi, Colombia, incluyendo a la cordillera costera; una segunda zona comprende desde el sur de Otavalo hasta Cali-Colombia, con destrucción en Otavalo; la tercera zona incluye a Quito, donde Del Pino y Yepes (1990), reportan una intensidad de VI.

### Sismo de 1914

Otro terremoto que tiene una intensidad importante es el del 31 de mayo de 1914. Las intensidades máximas de dicho sismo se reportan en la parte oriental de la provincia de Pichincha, con valores de VIII en los volcanes Antisana y



Sincholagua y de VI en Quito (Del Pino y Yepes, 1990). Este evento puede ser claramente atribuido a la falla Chingual, en la prolongación del "echelon" dextral que atraviesa la zona de Papallacta (Eguez y Yepes, 1993).

#### **Sismo de 1923**

A este sismo se le ha asignado una intensidad de VII en Quito (del Pino y Yepes, 1990), aunque no se ha reportado destrucción en las poblaciones hacia el norte (Almeida et al, 1998). Su localización epicentral es en la zona de Machachi, especialmente al oeste de la población donde se produjeron los mayores efectos. Este evento puede atribuirse a la prolongación hacia el sur del sistema de fallas inversas de Quito o la prolongación de la falla Atacazo (Eguez y Yepes, 1994).

#### **Sismo de 1929**

El 25 de julio de 1929, un sacudimiento menor afectó a las poblaciones de Tambillo y Uyumbicho donde se registraron intensidades de 8 K, y ubicándose su epicentro en el caserío de Murco en el flanco noroccidental del volcán Pasochoa. Posiblemente generado por la prolongación hacia el sur del sistema de fallas inversas de Quito (Eguez y Yepes, 1994)

#### **Sismo de 1938**

El sismo del 10 de agosto de 1938, conocido como el terremoto de Los Chillos, produce intensidades altas en Alangasí, San Rafael y El Tingo, pero no llega a causar daños en Quito, donde la intensidad es de V. Es probable que se trate de un evento muy superficial. No se ha determinado un rasgo geomorfológico al cual se pueda atribuir su origen (Eguez y Yepes, 1993).

#### **Sismo de 1942**

Uno de los terremotos mas poderosos generados en la zona de subducción durante el pasado siglo, ocurrió el 14 de mayo, en la zona de subducción frente a las costas de Bahía de Caráquez. Con una magnitud de  $M_s = 7,9$ ; generando intensidades de VI en Quito (Del Pino y Yepes, 1990).

#### **Sismo de 1955**

En mayo de 1955, un sismo probablemente localizado sobre la intersección de las fallas transcurrentes con las fallas transpresivas del sistema EAFFZ (Chingual-Pallatanga), produjo daños severos en Tabacundo, Huaca, Julio Andrade y Monte Olivo y cuarteamiento de casas e iglesias en Otavalo, Ibarra, Cayambe y San Gabriel. En Atahualpa, la cúpula de la torre de la iglesia se vino al suelo, quedando cuarteada la iglesia y la mayoría de las casas. En Quito los daños fueron menores (Yepes et al, 1994). Este evento puede estar ubicado en la misma zona epicentral y de características de la fuente parecidas al terremoto de 1987.

#### **Los terremotos del 5 de marzo de 1987**

Los graves efectos que produjeron los terremotos del 5 de marzo de 1987 afectaron una amplia área de la Provincia de Sucumbíos, pero también causaron estragos en ciertas edificaciones en Quito. Los epicentros de dichos eventos se ubican en la intersección de las fallas transcurrentes con las fallas inversas del Frente Andino Oriental. La magnitud del evento principal fue de  $M_s = 6,9$ ; siendo precedido por un evento premonitor de  $M_s = 6,1$ ; los dos eventos presentan mecanismos focales del tipo inverso. La intensidad máxima en la zona epicentral alcanzó el grado IX (Hall, 2000). Los efectos desastrosos producidos por estos sismos han sido descritos ampliamente en otros reportes. Aproximadamente 18.000 eventos, entre sismos principales y replicas generados por esta crisis, fueron registrados por la red sísmica del proyecto Mica-Tambo (Yepes et al, 1994).

Sin duda, el mayor efecto secundario de los terremotos de marzo de 1987 fueron los deslizamientos que afectaron una vasta zona comprendida entre el volcán Reventador y el Cayambe, que produjeron los efectos por todos conocidos en el SOTE y la carretera entre el río Salado y Lumbaqui. En el sector más cercano a Quito donde se observaron pocas fallas del talud en cangahuas, fue en Guayllabamba en la carretera al Este de Tumbaco. También se observaron derrumbes frescos y flujos de suelos en depósitos morrénicos arenosos en las cabeceras del río Papallacta. En la división de la Cordillera Real, se observaron algunos volcamientos en las lavas, que pueden estar relacionados con los sismos de marzo de 1987.

#### **Sismo de 1990**

El 10 agosto de 1990 se produjo un sismo de magnitud moderada,  $m_b = 5$ , que produce intensidades de VII en la zona epicentral, el cual afectó localmente a las inmediaciones de Pomasqui en la provincia de Pichincha, con un saldo de tres personas fallecidas y graves daños a las edificaciones. Inicialmente se pensó que la estructura responsable de este evento era la falla inversa de Quito; sin embargo, el área de ruptura definida con base en la disposición geométrica de sus réplicas parecería indicar que se trata de otra estructura, posiblemente la falla de Catequilla (UCE-Petrotransporte, 1991).

#### **Sismo de 1998**

Dentro de los sismos que se generan en la zona de subducción, el 4 de agosto de 1998 se produce un fuerte sismo en las inmediaciones de la ciudad de Bahía, con una magnitud  $M_s = 7,1$ , sentido en todo el país, tiene efectos destructivos en una buena parte de la zona costera. La intensidad en Bahía se estimó en grado IX, con el colapso de algunos edificios modernos, Manta, Portoviejo y Pedernales, se encuentran dentro de la isosista de VIII, Guayaquil, Babahoyo y Cojimies con intensidades entre VII y VI (Ceresis et al, 1999). Este sismo produce intensidades de IV a V en Quito.

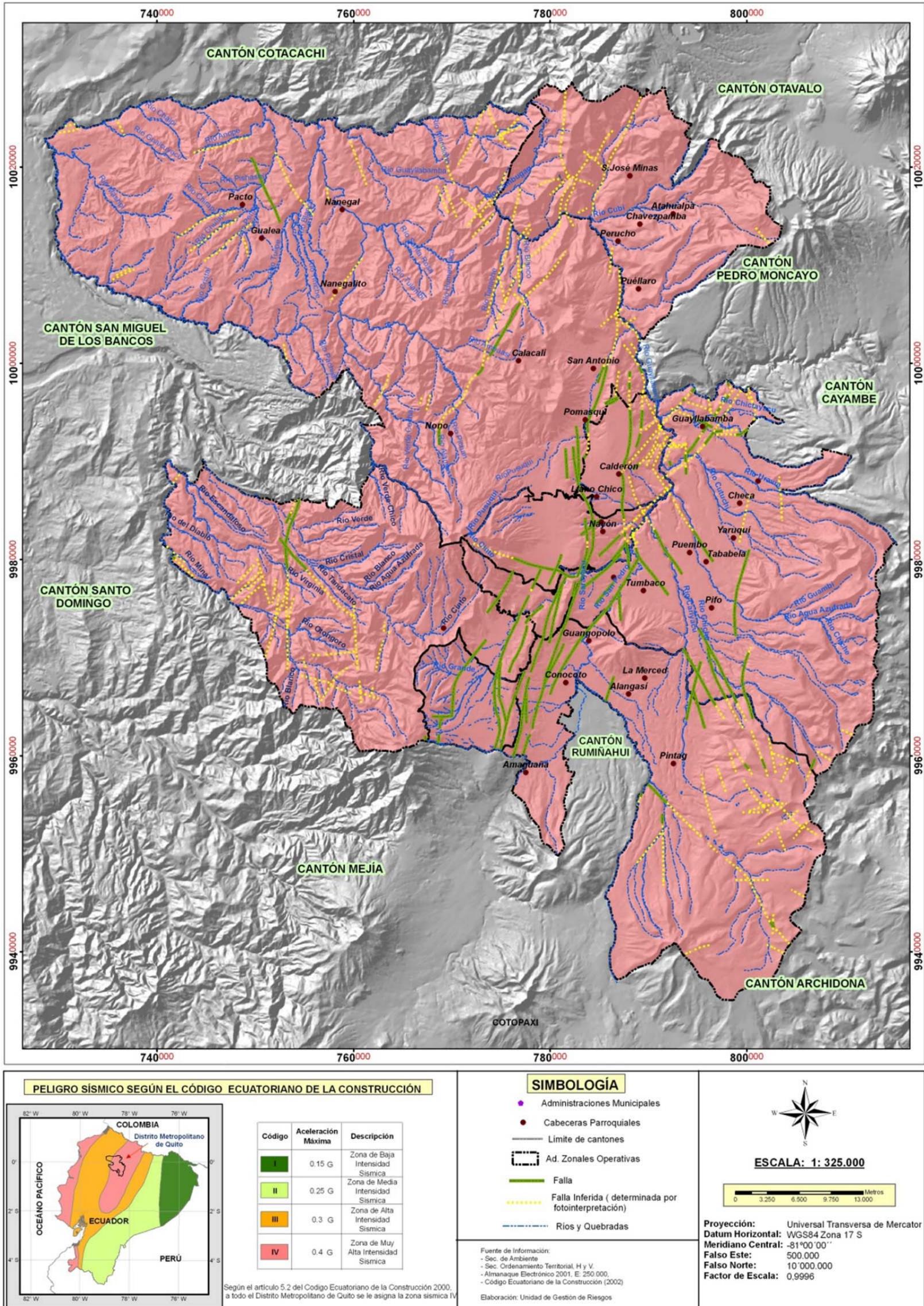
Especialistas que han realizado estudios en el Distrito Metropolitano de Quito, han estimado la magnitud y la localización de terremotos que podrían afectar a Quito en el futuro, la intensidad del sacudimiento que podrían producir y, el daño que provocaría en las infraestructuras. Esto, lo han realizado basándose en el análisis de fallas geológicas del Ecuador y en los registros de terremotos pasados, ya que el país se encuentra situado en una de



las zonas de más alta complejidad tectónica, en donde las placas de Nazca y Sudamérica se encuentran generando una alta actividad sísmica.

Sin embargo, aplicando normas vigentes, es factible disminuir pérdidas futuras, como es el Código Ecuatoriano de la Construcción (2002) Peligro Sísmico, Aspectos de Diseño y<sup>o</sup>1 Requisitos Mínimos de Cálculo para Diseño Sismo-Resistente, el cual tiene por objeto establecer un conjunto de especificaciones básicas adecuadas para el diseño de estructuras que están sujetas a los efectos de terremotos que podrían presentarse en algún punto de su vida útil. En cualquier caso, los túneles son las infraestructuras más seguras con respecto a los riesgos sísmicos.

Figura 9.3: Mapa de sismos



Fuente: Unidad de Gestión de Riesgos



$$P[A] = \int P[A|(m,r)] \times fm(m) \times fr(r) \times dm \times dr \quad (1)$$

donde:

$A$	Aceleración máxima en roca;
$m$	Magnitud del terremoto;
$r$	Distancia del sitio en estudio al epicentro o hipocentro;
$P[A (m,r)]$	Probabilidad condicional que un nivel de movimiento del terreno, derivado de un sismo de magnitud $m$ y a una distancia $r$ exceda el valor especificado $A$ , para el sitio en estudio;
$fm(m)$	Probabilidad independiente que un sismo de magnitud $m$ ocurra en un área fuente, durante un tiempo determinado;
$fr(r)$	Probabilidad independiente que un sismo ocurra a una distancia $r$ .

### Aceleración máxima esperada en roca

Existen varias técnicas de análisis sísmico, fundamentadas en el valor de aceleración máxima esperada, en roca y/o superficie, a la que estaría expuesta la zona de interés durante un período determinado.

En la evaluación de la amenaza sísmica del área se empleó un algoritmo de cálculo probabilístico EZ-FRISK, Versión 4.1, desarrollado por Risk Engineering, Inc. (1998) a partir de los propuestos por McGuire (1976 y 1978). Este algoritmo se basa en el supuesto que la actividad sísmica sea un proceso sin memoria, representado por un modelo de Poisson y con una tasa de actividad invariable en el tiempo. Las etapas de la evaluación se pueden resumir brevemente en:

- definición de las zonas fuentes
- determinación de los parámetros de sismicidad
- selección de la ley de atenuación

### Metodología

La amenaza sísmica se puede definir como la probabilidad que el valor del parámetro que caracteriza el movimiento del terreno, tal como la aceleración, la velocidad, el desplazamiento máximo o la aceleración espectral, sea excedido en el sitio de estudio, por la ocurrencia de un terremoto de cierta magnitud en un período específico.

Además de las incertidumbres provenientes de la ubicación de cada hipocentro, del tiempo de ocurrencia de los sismos de distintas magnitudes, así como de la dispersión en las relaciones de atenuación, los supuestos básicos de la metodología para el análisis de la amenaza sísmica son:

Los sismos ocurren aleatoriamente en las mismas fallas o zonas-fuentes donde se produjeron en el pasado.

La sismicidad de una zona es constante en el tiempo y es un proceso *sin memoria*, representado por una distribución de Poisson.

La amenaza sísmica, definida por  $P[A]$ , se calcula a partir del teorema de probabilidad total para un año y se le da el nombre de probabilidad anual de excedencia y su inverso puede ser considerado equivalente al período medio de retorno.

Entonces, la aceleración máxima esperada en roca, para cierta probabilidad de excedencia anual, se determina como sigue (McGuire, 1976):

Para el cálculo de amenaza sísmica, la probabilidad independiente  $fm(m)$  se expresa en términos de la tasa de ocurrencia o número medio de sismos por año, de una magnitud  $m$  o superior, en una fuente determinada; la probabilidad independiente de que ocurra un sismo en cualquier punto de la zona fuente  $fr(r)$  se obtiene de la geometría de la fuente y de la distancia hasta el sitio de estudio; y, la probabilidad condicional  $P[A|(m,r)]$  es un proceso de distribución log-normal, con desviación constante y media fundamentada en la relación de atenuación del movimiento del terreno, con respecto a la distancia hipo- o epicentral.

Entonces, para evaluar, cuantitativamente, la amenaza sísmica de un sitio específico, se requiere la siguiente información:

- Definición de las zonas fuentes o sismogénicas.
- Caracterización de cada zona fuente.
- Atenuación del movimiento del suelo desde la fuente al sitio en estudio.

### Información Básica

El análisis de la amenaza sísmica hace uso del catálogo sísmico recopilado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional - IG-EPN, así como también de las características de la actividad cuaternaria de las principales fallas activas reconocidas en el país (Mapa de Fallas Activas y Pliegues del Ecuador, Eguez et al, 1998) y de información sismogénica de los principales sistemas de fallas del Ecuador enmarcadas dentro del contexto geodinámico descrito anteriormente.



A continuación se da la información que contiene los componentes fundamentales de la base de datos: los catálogos sísmicos, las fuentes sísmicas y sus parámetros sísmicos, como ley de recurrencia, tasa de ocurrencia de sismos y relación magnitud-longitud de ruptura. También se da la ley de atenuación y el nivel de riesgo para el cual se calculó la aceleración máxima esperada.

### Catálogos sísmicos

El catálogo sísmico es un listado de los sismos ordenados cronológicamente, donde se registra la información básica de cada evento, tal como:

- Fecha y hora de la ocurrencia del evento
- Ubicación del sismo en coordenadas geográficas (epicentro)
- Profundidad del foco (hipocentro); y
- Magnitud del evento
- Número de estaciones que registraron el evento
- Agencia o fuente de información del evento
- Intensidad
- Datos referentes al mecanismo focal
- Información sobre la calidad de las determinaciones de los parámetros.

Algunos eventos cuentan, además, con información más detallada sobre las diferentes medidas cuantitativas del tamaño del sismo en su fuente, tales como, magnitud local ( $M_L$ ), magnitud de ondas superficiales ( $M_s$ ), magnitud de ondas corpóreas ( $m_b$ ), magnitud de duración o de coda ( $m_c$ ), magnitud de momento ( $M_w$ ) y/o momento sísmico ( $M_0$ ).

El catálogo compilado para el análisis de la amenaza sísmica se basa en el catálogo del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional que cubre el período 1541-2000, el cual a su vez incluye el catálogo histórico (Egred, 1981; Ceresis, 1985; Información interna IG, 2000), los catálogos instrumentales que estudian los sismos grandes hasta 1963 del International Seismological Summary (ISS), Gutenberg y Richter (1954) y Rothé (1969). A partir del año 1963, la fuente principal de información es el boletín mensual del Centro Internacional de Sismología (ISC: International Seismological Center), el boletín semanal del Servicio Geológico de los Estados Unidos (PDE: Preliminary Determination of Epicenters), el Catálogo del Proyecto Piloto (GSHAP, 1997) y, para la sismicidad local, el catálogo de la Red Nacional de Sismógrafos RENSIG del Instituto Geofísico.

El catálogo sísmico es la base de datos fundamental para la obtención de la sismicidad de fondo de la zona, delimitación de áreas sísmicamente activas y determinación de los parámetros como beta ( $\ln b$ ), tasa de actividad sísmica y magnitud máxima.

En este sentido, el catálogo de sismicidad contiene dos tipos de información: observaciones macro sísmicas de eventos mayores que han ocurrido en un período de pocos cientos de años (sismicidad histórica) y datos de sismicidad instrumental relativamente completos para períodos cortos en comparación con aquellos abarcados por la historia.

Por lo tanto, para la obtención de los parámetros sísmicos mencionados, es necesario que la base de datos esté completa, es decir, que para un determinado valor de magnitud, se considere que todos los eventos sobre dicho valor estén registrados; y, homogéneos, es decir, que el número de eventos en el tiempo sea de distribución aleatoria pero continua.

En este estudio se procedió primero a homogenizar la magnitud de todos los eventos, para lo cual se tomo como base el trabajo realizado para el Proyecto Piloto (1997), en el que se desarrolló una relación entre magnitudes determinadas instrumentalmente específicas para los sismos del Ecuador:

$$M_s = 1,157 * m_b - 0,873 \quad (2)$$

Por otro lado, fue fundamental revisar las magnitudes reportadas para los sismos pre-instrumentales, que se determinaron con base a relaciones conocidas entre intensidad y magnitud (Richter, 1958, Trifunac y Brady, 1975), pues se consideró fundamental incluir toda la información histórica de la sismicidad del país en la evaluación de la amenaza.

Para tal objeto, se probaron varias relaciones intensidad-magnitud utilizadas en ambientes tectónicos similares al del Ecuador; es decir una zona muy activa de subducción y fallamiento cortical somero. Finalmente se adoptaron dos relaciones validadas para Centroamérica (Peraldo y Montero, 1999):

$$M_s = 2,60 + 0,58 I_{max} \quad (3)$$

$$M_s = 1,80 + 0,52 I_{max} \quad (4)$$

Dentro de la metodología para el cálculo del peligro sísmico se asume que la ocurrencia de los sismos sigue aproximadamente una ley de distribución de Poisson, es decir, que los eventos ocurren en el tiempo y el espacio de forma independiente entre sí. Por este motivo fue necesario previamente depurar el catálogo de forma que sean eliminadas todas las réplicas quedando todos los sismos en forma de eventos principales.

### Fuentes sísmicas

Se definen como fuentes sísmicas o sismogénicas a aquellas zonas, modeladas geoméricamente, donde la sismicidad se repite en el espacio y en el tiempo. Para su modelaje es necesario tomar en cuenta la tectónica del



área, así como la distribución espacial de la sismicidad registrada. Siguiendo este procedimiento, la sismicidad de la zona de estudio se modeló con un total de 74 fuentes, como se indica más abajo. Se consideró que la sismicidad que pueda afectar a la zona de interés estará a distancias máximas de 250 km, por lo que el modelaje de las zonas fuentes tomó en consideración este límite.

Tomando en cuenta la distribución de los sismos con la profundidad, la sismicidad en Ecuador se dividió en tres niveles: sismicidad superficial (0-33 km), intermedia (33-80 km) y profunda (>80 km). Además, se modelaron 19 zonas fuentes para representar el proceso de subducción, que ocurre en todo el intervalo de profundidades.

La sismicidad de las fuentes superficiales está asociada con la actividad tectónica de las fallas y, por lo tanto, la actividad está restringida a la corteza terrestre. Por consiguiente, cada fuente superficial –en total 53– se modeló tomando en consideración la distribución espacial de la sismicidad y la tectónica activa conocida del Ecuador. La sismicidad de profundidad intermedia, de 33 a 80 km, se modeló considerando la distribución de la sismicidad y el ambiente tectónico del área, seleccionando así 12 zonas fuentes. Se seleccionaron 7 zonas fuente para los sismos de profundidades superiores a 80 km.

Para cada fuente se determinó su tasa de actividad anual, para magnitudes superiores o iguales a  $M_s = 4,5$ . Asimismo se determinaron los parámetros de la ley de recurrencia, sismo máximo probable y profundidad.

#### Leyes de recurrencia y completitud del catálogo

La distribución del número de sismos por encima de cierta magnitud, ocurridos dentro de un área específica y en una unidad de período, se conoce como ley de recurrencia y se expresa en función de la relación frecuencia-magnitud de Gutenberg y Richter (1954), como sigue:

$$\log N (M_s) = a - b M_s \quad (5)$$

donde:

$N (M_s)$  Número anual de eventos para sismos con magnitud igual o superior a  $M_s$

$M_s$  Magnitud del sismo calculado a partir de las ondas superficiales

$a$  y  $b$  Constantes características de la fuente sísmica

Los últimos parámetros ( $a$  y  $b$ ) se determinaron considerando los periodos de completitud y se ajustaron por el método de los mínimos cuadrados. Los parámetros de las relaciones de recurrencia se indican en la ecuación 6.

$$\log N (M_s) = 5,13 - 0,94 M_s \quad (r^2 = 0,98) \quad (6)$$

En el Cuadro 9.1 se muestra el resultado del análisis de completitud para el Ecuador. La evaluación de los períodos de completitud dio para los intervalos de magnitud lo siguiente:

#### Cuadro 9.1 Períodos de completitud en el Catálogo Sísmico

Magnitud $M_s$	Período [Años]
4,5 – 4,9	12
5,0 – 5,4	22
5,5 – 5,9	42
6,0 – 6,4	90
6,5 – 6,9	110
7,0 – 7,4	150
7,5 – 8,0	220

Fuente: Elaboración propia, 2012

#### Tasa anual de ocurrencias de sismos

La tasa anual de sismicidad de una fuente se relaciona con la probabilidad independiente  $f_m(m)$  de la Ecuación 1. Para los fines del diseño sismorresistente se considera que la magnitud mínima de un evento sísmico, que podría causar modificaciones en el comportamiento estructural es  $M_s=4,5$ . Considerando la relación de recurrencia sísmica, la tasa anual para todos los sismos de  $M_s \geq 4,5$  es  $\lambda_{4,5} = 7,90$ . Esta tasa anual de actividad sísmica, que corresponde a toda la región en estudio, se dividió entre las 74 fuentes sísmicas, asignando a cada una tasa proporcional a la sismicidad registrada instrumentalmente y que aparece en el catálogo sísmico del IG-EPN.

#### Ley de atenuación

La probabilidad condicional que el nivel de movimiento del suelo (expresado en términos de aceleración máxima obtenido del análisis de amenaza) sea excedida por un sismo de magnitud específica, producido a cierta distancia del sitio de estudio, está relacionada con la atenuación del movimiento desde la fuente.

En Ecuador no existe información suficiente derivada de registros acelerográficos para desarrollar una relación de atenuación específica para la zona de estudio, por lo que se analizaron exhaustivamente las que han sido desarrolladas para otras regiones del mundo, pero con características sismotectónicas similares a las del país. Además, se tuvo en consideración la necesidad de obtener aceleraciones espectrales para definir espectros de respuesta en los sitios de estudio. Finalmente, para el cálculo de la amenaza, se seleccionaron tres leyes de atenuación sísmica basadas en registros acelerográficos de todo el mundo.

La primera de ella se utilizó para todos los sismos cuya fuente correspondía a áreas de subducción (Ecuación 9) y fue desarrollada por Youngs et al (1993), para sismos generados por el mecanismo de subducción y registros en roca, que tiene la siguiente forma:



$$\ln(y) = 0,2418 + 1,414M + C_1 + C_2(10 - M) + C_3 \ln(R + 1,782e^{0,554M}) + 0,00607D + 0,3846ST \quad (9)$$

$$\sigma_{\ln(y)} = C_4 + C_5M$$

donde:

y	Aceleración espectral [g];
M	Magnitud de momento;
R	Distancia hipocentral desde la fuente al sitio [Km].
D	Profundidad del sismo [Km]
ST	Tipo de fuente: 0 para la interfase y 1 para intraplaca

Los valores de  $C_1$  están dados en una tabla para distintos períodos del espectro de aceleraciones.

Para todos los otros sismos se utilizaron dos relaciones. La primera (Ecuación 10) fue desarrollada por Boore, Joyner y Fumal (1993, 1994) para sismos que ocurren en la corteza terrestre y que tiene la siguiente expresión:

$$\text{Log}Y = b_1 + b_2(M-6) + b_3(M-6)^2 + b_4r + b_5 \log(r) + b_6G_B + b_7G_C \quad (10)$$

$$r = (d^2 + h^2)^{1/2}$$

$$\sigma_{\log(y)} = \sigma$$

donde:

y	Aceleración espectral [g]
M	Magnitud
r	Distancia epicentral desde la fuente al sitio [Km]
h	Profundidad ficticia del sismo [Km]
$G_B$	= 1 para sitios Clase B ( $V_s > 750\text{m/s}$ ); = 0 en caso contrario
$G_C$	= 1 para sitios Clase C ( $180 > V_s > 360\text{m/s}$ ); = 0 en caso contrario

Los valores de  $b_i$  están dados en una tabla para distintos períodos del espectro de aceleraciones

La segunda relación utilizada (Ecuación 11), para los sismos que no corresponden al mecanismo de subducción, fue desarrollada por Abrahamson & Silva (1995) y tiene la siguiente expresión:

$$\ln Sa(g) = f_1(m,r) + 0,5f_3(m) + Sf_5(PGA_{roca}) \quad (11)$$

Donde:

$$f_1(m,r) = \begin{cases} a_1 + a_2(m - m_1) + a_{12}(8,5 - m)^n + [a_3 + a_{13}(m - m_1)] \ln(R) \\ a_1 + a_4(m - m_1) + a_{12}(8,5 - m)^n + [a_3 + a_{13}(m - m_1)] \ln(R) \text{ para } m > m_1 \end{cases}$$

$$R = (R_{rup}^2 + C_4^2)^{1/2}$$

$$\sigma_{\ln Sa} = \begin{cases} b_1 & \text{para } M \geq 5,0 \\ b_1 - b_2(M - 5) & \text{para } 5,0 < M < 7,0 \\ b_1 - 2b_2 & \text{para } M \geq 7,0 \end{cases}$$

Sa (g) aceleración espectral en [g]

S Clase de suelo = 0, para roca e = 1 para suelos profundos

M magnitud de momento,  $M_w$

$R_{rup}$  distancia mínima a la ruptura

Para tener el rango de variación de los resultados de amenaza, se evaluó la amenaza para dos posibilidades de atenuación, en cada punto estudiado. En la primera opción se utilizó la relación de atenuación de Youngs et al. (1993), para los eventos provenientes de las zonas de subducción y la relación de Boore, Joyner y Fumal –BJFY- (1993, 1994) para el resto de los eventos. La segunda opción de cálculo se hizo mediante la relación de atenuación de Youngs et al. (1993), para los eventos provenientes de las zonas de subducción y la relación de Abrahamson & Silva –ASY- (1995).

### Nivel de riesgo

Se estimó como riesgo aceptable la probabilidad de excedencia de las aceleraciones de diseño en 10%, considerando una vida útil de 50 años. Este valor se adoptó tomando en cuenta la relación de las laderas con la ciudad y sus zonas de expansión.



## Resultados

El peligro o amenaza sísmica del sitio se calculó para un punto representativo de la zona de interés, ubicado en el Cerro Totoras, en la cabecera de la quebrada Navarro. Para el cálculo se utilizó, como ya se ha dicho, el algoritmo EZ-FRISK™, desarrollado por Risk Engineering, Inc., basado en el modelo probabilístico propuesto por McGuire (1976 y 1978).

## Conclusiones y recomendaciones

Los resultados vienen a confirmar los niveles de sismicidad de la zona estudiada.

Los niveles de aceleración esperada son más altos que los inferidos de la sismicidad histórica de la región, pero son concordantes con la cercanía del sitio de interés a estructuras muy cercanas y activas como es el caso de la Falla de Quito.

Los mayores problemas para la estabilidad de los taludes vendrían precisamente de los sismos grandes originados en la Falla de Quito o en otras cercanas como las de Nono o Río Cinto.

Los resultados corresponden a la aceleración en roca y deben tomarse en cuenta en los estudios geotécnicos de sitio para estimar la respuesta de los suelos y pendientes locales.

### **9.2.3 Riesgos volcánicos**

Para el análisis de los riesgos volcánicos se consultó directamente el Atlas de Amenazas Naturales en el Distrito Metropolitano de Quito, 2010.

El arco volcánico ecuatoriano es, en efecto, el resultado de la subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la placa continental Sudamericana y varios volcanes apagados o potencialmente activos se distribuyen siguiendo cuatro alineamientos a lo largo de la cordillera Occidental, del callejón interandino, de la cordillera Real y en el Oriente.

La historia del Ecuador está marcada por eventos desastrosos ocasionados por una serie de fenómenos de origen natural de gran magnitud y gran extensión, como es la actividad volcánica. Estos eventos causaron graves desequilibrios ambientales que, en algunos casos, tuvieron consecuencias a largo plazo. Los volcanes que han hecho erupción en los últimos 500 años son: Cotopaxi, Cayambe, Chacana (Antisana), Cerro Negro, Tungurahua, Reventador, Sangay, Guagua Pichincha; y, los que se encuentran actualmente en proceso de erupción son: Reventador (desde 2002), Tungurahua (desde 1999), Sangay (más de 200 años), Guagua Pichincha (durante 1999), Sierra Negra y Fernandina en Galápagos.

Una de las amenazas del DMQ son los varios volcanes activos que están localizados en o cerca del distrito. El Guagua Pichincha ha afectado seriamente a Quito en varias ocasiones a lo largo de la historia en: 1560, 1575,

1582, 1660 y, menos intensamente, en 1843 y 1868. Es sobre todo la erupción de 1660 la que más ha marcado la memoria y dejado testimonios escritos, debido a las grandes cantidades de ceniza que se depositaron en la ciudad.

El Cotopaxi, ubicado aproximadamente a 60 km al sur de Quito, ha experimentado igualmente varias erupciones (1742, 1744, 1768 y 1877), de las cuales algunas llevaron cenizas hasta Quito y afectaron gravemente al valle de Los Chillos y, en menor medida, al valle de Cumbayá-Tumbaco bajo el efecto de flujos de lodo (o lahares), producto de la fusión parcial del glaciar que cubre al volcán.

Las últimas erupciones de los demás volcanes son más antiguas, pero no por ello tales volcanes dejan de constituir una seria amenaza, como es el caso particular del Cayambe, ubicado a 50 km al noreste de Quito, cuya última erupción se remonta a 1785-1786 y del Antisana, localizado a 50 km al sureste de Quito, que ha experimentado, igualmente erupciones históricas (1728, 1773 y tal vez 1801). Otros, han tenido una actividad más remota, como el Pululahua hace 2.300 años y, un tanto antes el Ninahuilca. Además, algunos más alejados, como el Reventador, pueden también afectar al DMQ con caída de cenizas. Fue el caso en el año 2002, y las cenizas de ese volcán han llegado a la capital una decena de veces desde el siglo XVI.

Los flujos piroclásticos (masas incandescentes formadas por ceniza, gases y fragmentos de roca a altas temperaturas), constan entre las amenazas volcánicas más destructoras pero, globalmente, salvo en el caso poco probable de erupción del Pululahua o del Ninahuilca, el DMQ está relativamente poco expuesto a este tipo de fenómeno. Sin embargo, los flujos piroclásticos del Guagua Pichincha, posibles en el flanco oeste del volcán, podrían amenazar localidades como Lloa, situadas en la proximidad del cráter, pero en el caso del DMQ, los peligros más inquietantes son: la caída de ceniza y los flujos de lodo. Quito ha experimentado, recientemente, caídas de ceniza pero podría tratarse de mayores cantidades como fue en 1660.

Las amenazas volcánicas más temibles para el DMQ, debido a su carácter destructor, son los flujos de escombros y lodo (lahares). Se trata esencialmente de flujos de lodo que pueden producir las erupciones del Guagua Pichincha y del Cotopaxi. En el caso del Pichincha, estos pueden desarrollarse en las laderas occidentales, por la movilización de las cenizas con precipitaciones que acompañan a la erupción o posteriores a ella y, por flujos torrenciales en las quebradas. En la ciudad de Quito, más de 2.000 hectáreas, es decir más del 10% de su superficie, están expuestas a ello: en los flancos del Pichincha y en las partes planas situadas frente a las quebradas, principalmente, en las parroquias de Cotocollao, La Concepción, Santa Prisca, San Roque, La Magdalena y La Villa Flora. En el caso del Cotopaxi, los lahares producidos por la fusión del casquete glaciar que recubre al volcán podrían afectar a una parte importante del DMQ, a lo largo de los ríos Salto, Pita, Santa Clara y San Pedro, amenazando a una gran parte del valle de Los Chillos, así como al valle Cumbayá-Tumbaco. Estos espacios, poco poblados durante las últimas grandes erupciones del Cotopaxi, están hoy muy urbanizados.

En el año 1999, el volcán Guagua Pichincha se reactivó luego de varios cientos de años de inactividad, dando lugar a una serie de estudios sobre las amenazas volcánicas a las que la ciudad de Quito podría estar sujeta. Una de estas amenazas, de bajo probabilidad de ocurrencia, es la relacionada con los flujos de lodo y escombros



secundarios de origen volcánico, el cual es el producto del arrastre de cenizas volcánicas depositada después de una erupción, por precipitaciones intensas.

Los flujos de lodo y escombros generalmente se movilizan en los fondos de las quebradas, y si la capacidad de drenaje de los drenes naturales (quebradas) ubicados en la parte occidental de la ciudad son sobrepasados por los volúmenes de los flujos, éstos pueden drenar por calles y avenidas de la ciudad. Varios estudios presentan las características hidráulicas de los flujos que naciendo en las laderas orientales de la ciudad, fluyen por calles y avenidas de la ciudad.

Se han realizado simulaciones<sup>2</sup> de flujos de lodo y escombros secundarios en las quebradas de Rumipamba y Rumiurcu ante una posible erupción del volcán Guagua Pichincha a fin de definir las medidas de gestión a ser implementadas para reducir los efectos destructivos de estos flujos.

El estudio caracterizó los flujos secundarios de erupciones históricas sobre la base de estudios estratigráficos en los depósitos del valle de Quito y de las quebradas. Proporcionó la zonificación de la estabilidad de las laderas y la potencial contribución de materiales de las laderas a los flujos de lodo y escombros.

El estudio manifiesta que a pesar de que el riesgo volcánico es bajo frente a otras amenazas naturales (deslizamientos, inundaciones), éste tiende a incrementarse debido a la expansión urbana de la ciudad que ha visto a las laderas orientales de la ciudad como una zona de expansión. El peligro de estos flujos se ve agravado ante dos eventos que pueden ocurrir en la zona. De un lado la caída de ceniza volcánica y la presencia posterior de fuertes precipitaciones que provocarían la ocurrencia de grandes flujos de lodo y escombros. Los eventos más peligrosos proporcionan datos de caudal de 136 m<sup>3</sup>/s y velocidad de 8,1 m/s para el caso de la quebrada Rumipamba, y de 195,8 m<sup>3</sup>/s y de 8,4 m/s para el caso de la quebrada Rumiurcu.

Para el caso de los flujos de lodo y escombros provenientes de estas quebradas presenta los mapas de peligro y vulnerabilidad (viviendas e infraestructura), en los drenajes a la salida de las quebradas, flujos que en varios casos llegan hasta la avenida 10 de agosto.

La emergencia vivida por la reactivación volcánica del Guagua Pichincha permitió la elaboración expedita de las zonas de posibles afectaciones por flujos de lodo y escombros secundarios a lo largo de la ladera oriental de la ciudad de Quito, acompañados de un sistema de alerta para prevenir a la población de las laderas con base en los datos de precipitación y espesor de cenizas. Se presenta un sistema de recolección de cenizas volcánicas a fin de determinar la distribución espacial de los espesores en varios sitios de las laderas orientales del Pichincha.

Para caracterizar las precipitaciones e identificar el tipo de precipitación que puede provocar la generación de flujos de lodo y escombros, el estudio presenta un sistema de pluviometría telemétrica remota ubicado en las laderas del Pichincha.

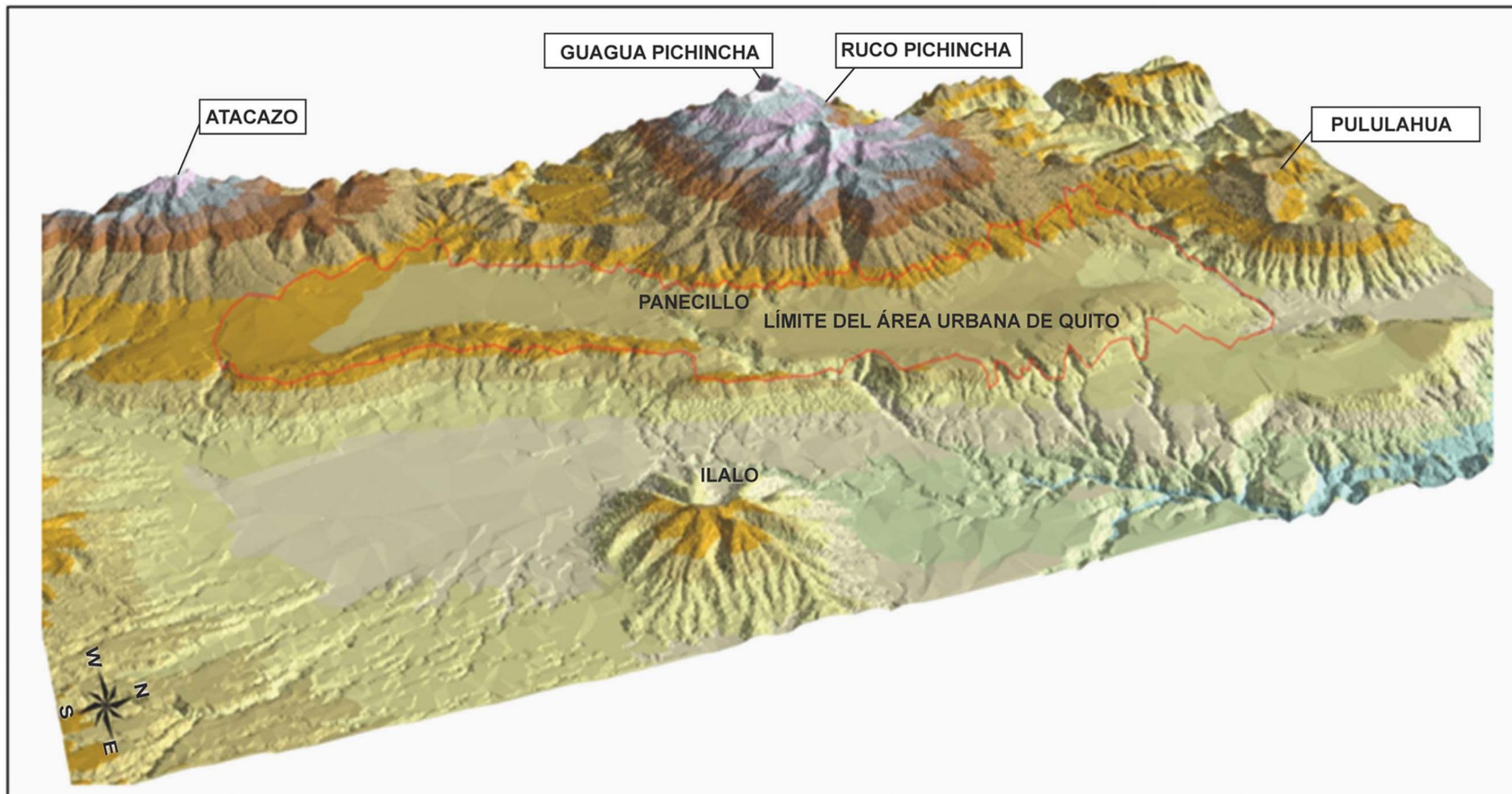
Para determinar los tiempos de generación de flujos de lodo y escombros a partir de los datos de intensidad de precipitación, se presenta un estudio en modelación física de simulación de lluvia de la interacción entre la intensidad de la precipitación, la cobertura vegetal, la pendiente del terreno y los espesores de ceniza.

Finalmente, el estudio presenta los resultados de la modelación matemática de los flujos de lodo y escombros usando el modelo FLO-2D para las quebradas El Tejado (La Gasca), Rumipamba y Rumiurcu, que proporciona los patrones de flujo a lo largo de los drenajes (calles y avenidas en este caso) de las salidas de estas quebradas.

El flujo de lodos y escombros de origen volcánico originado en las laderas occidentales del macizo del Rucu y Guagua Pichincha pueden alcanzar los mismos niveles que las inundaciones de origen meteorológico, con el agravante de que los flujos a lo largo de los principales ejes viales transversales a la ciudad, y por donde circularían los flujos de lodo y escombros de origen volcánico, pudieran impactar algunas de las estaciones de ingreso-salida del Metro, como se puede ver en el Cuadro 9.2.

<sup>2</sup> EPN (FIC-DHRH, FGMP, IG, MDMQ (Dirección General de Planificación). Simulación de los flujos secundarios de lodo en las laderas orientales del volcán Pichincha. Agosto 1998 y EPN (DHRH, IG). MDMQ (Dirección General de Planificación). Zonas de peligro por flujos de lodo y escombros en el sector occidental de la ciudad de Quito – modelación física del flujo de ceniza y modelación matemática usando FLO-2D. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), PNUD. 1999

Figura 9.4: Volcanes alrededor de Quito



Fuente: Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad, Cuerpo de Bomberos del DMQ. "Atlas de Amenazas Naturales en el Distrito Metropolitano de Quito". 2010. Abrahamson N.A., & Silva W.J., 1997. Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes, Seism. Res. Lett., Vol. 68, N. 1, pp. 94-127



### Cuadro 9.2 Peligro de flujos de lodo y escombros en la Primera Línea del Metro

ESTACIÓN	PELIGRO EXTREMO	PELIGRO MODERADO	INUNDACIONES DE LODOS	NINGUNA AMENAZA DE FLE
Quitumbe	-	-	-	✓
Morán Valverde	-	-	-	✓
Solanda	-	-	-	✓
El Calzado	-	-	-	✓
El Recreo	-	-	-	✓
La Magdalena	-	-	✓	
San Francisco	-	-	✓	
La Alameda	-	-	-	✓
El Ejido	-	-	-	✓
Universidad Central	-	-	✓	-
La Pradera	-	-	-	✓
La Carolina	-	-	✓	-
Iñaquito	-	-	✓	-
Jipijapa	-	-	-	✓
El Labrador	-	-	-	✓

Fuente: Elaboración propia

#### 9.2.4 Riesgos por inundaciones

Por su posición geográfica, 0° 15' 00" S y 78° 35' 24" O, la ciudad de Quito está sujeta a la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI), y la influencia de la humedad de la Amazonía y de los vientos del Pacífico. Estos fenómenos son típicos de la región tropical y se presentan con mucha frecuencia, más de una vez al año, y afectan diferentes áreas en todo el territorio nacional.

Otra amenaza derivada de las condiciones antes indicadas la constituyen las precipitaciones continuas, moderadas o fuertes, que al caer sobre la zona urbanizada de la ciudad produce importantes escurrimientos superficiales, los cuales, en un alto porcentaje son derivados hacia el sistema de alcantarillado de la ciudad, el cual en los últimos años ha sido ampliado considerablemente, habiéndose notado, en especial en los dos últimos años una reducción importante en los efectos de las inundaciones sobre algunos barrios que tradicionalmente, durante la época invernal, solían sufrir grandes y graves inundaciones.

EPN (1998) presenta una recopilación importante de eventos entre inundaciones y aluviones (flujos de lodo y escombros) ocurridos en la ciudad de Quito en el siglo XX, lo cual pone de manifiesto la alta vulnerabilidad de la ciudad a estos fenómenos. Las zonas de mayor peligro frente a estos eventos son las zonas bajas de la ciudad, ubicadas a lo largo de la avenida 10 de agosto, La Prensa, y el Aeropuerto Mariscal Sucre en el norte de la ciudad. En la parte sur se puede identificar dos zonas importantes sujetas a posibles inundaciones, Chimbacalle y La Magdalena.

No existen estudios científicos específicos sobre las inundaciones en la ciudad de Quito. Los mapas de peligro por inundaciones han sido elaborados en su mayor parte a partir de recolección de información secundaria. Las zonas de afectación han sido delineadas no por modelación del escurrimiento superficial de crecidas, sino por la interpretación de datos de campo de fenómenos registrados. Se puede observar en el Anexo 2, los mapas de inundación que incluye los sectores cíclicamente inundables así como mapas de aluviones e inundaciones por tipo de evento y período.

El eje principal de la Primera Línea del Metro atraviesa longitudinalmente a la ciudad de Quito desde El Labrador hasta Quitumbe, y atraviesa por zonas propensas a inundaciones, aunque desde la perspectiva del Metro, este no tendría incidencia mayor, sino fuera porque las estaciones de ingreso al Metro, podrían estar localizadas en zonas de inundaciones; pero, debido a la ingeniería del proyecto y el diseño de cada ingreso de las estaciones, los riesgos de inundaciones disminuyen considerablemente; y, si se diera el caso de una eminente inundación, las estaciones cuentan con motores que pueden bombear el agua desde su interior para su posterior desalojo (bombas explicadas en Cap. 5, Descripción del Proyecto, pág. 39 Pozos de Bombeo).

#### 9.2.5 Fenómenos de remoción en masa

En Ecuador los deslizamientos o fenómenos de remoción en masa (FRM), son denominados popularmente con varios vocablos como: aluviones, deslaves, derrumbes, derretidos, avalanchas, aludes, caídas, etc., y muchos de ellos corresponden a alguno de los tipos de la clasificación de Varnes, D. (en Landslides: Analysis and Control, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C. Special Report 176, 1978). Los tipos de FRM más comunes son los deslizamientos rotacionales y traslacionales, caídas de suelos y rocas, flujos de lodos y escombros, y se presentan también en algunas localidades desplazamientos laterales asociados a licuefacción, así como reptación en laderas y FRM complejos.

Los FRM complejos corresponden a sitios inestables donde se originan procesos que dan lugar a varios tipos de movimientos y erosión. Los hundimientos, que no se agrupan generalmente en las clasificaciones de los FRM, corresponden al colapso de la superficie del terreno generalmente debido a cavidades subterráneas originadas por varios procesos de erosión interna.

Se considera que los factores desencadenantes principales de los FRM son: lluvias, sismos, erosión fluvial al pie de las laderas y varias acciones antrópicas como construcción de carreteras, urbanizaciones, presas, explotación minera e irrigación (Pazos y Vinuesa, 1990, Plaza, G., 1996). Otros factores importantes son la litología y



fracturación de los terrenos, el tipo de suelo, y frecuentemente la deforestación, quema de maleza, así como las excavaciones, rellenos anti-técnicos, la ocupación y mal uso de laderas por presión social en los centros poblados (Plaza, G., 1998).

El objetivo de este apartado es realizar la identificación de sitios inestables por FRM, hundimientos y erosión, y una evaluación preliminar de la susceptibilidad por FRM para el corredor del trazado del proyecto para la Primera Línea del Metro de Quito, con base en la información existente.

Para conseguir el objetivo se utilizó la información existente de los sitios inestables, históricos y recientes, donde han ocurrido deslizamientos, caídas y hundimientos y se evalúa la susceptibilidad utilizando la distribución de FRM, en los diferentes tipos de materiales y pendientes del terreno. Se relacionan también los sitios de hundimiento con la litología y la ubicación de obras de infraestructura subterránea. Al final se caracteriza el material denominado cangahua y su forma de ruptura por ser el más ampliamente distribuido en la superficie del DMQ.

Los FRM han sido identificados principalmente en las laderas del volcán Guagua Pichincha, al oeste de la ciudad y en el sector oriental, formado por las lomas de Puengasi, Lumbisí, La Bota-Batán y Bellavista como se puede observar en el Mapa de Lahares del Guagua Pichincha en el Anexo 2. En el mismo Anexo 2, se pueden apreciar Mapas de Movimientos en Masa, Deslizamientos y Estabilidad Geomorfológica.

Alvarez, B (1984) identificó y localizó varias zonas inestables en el sector suroriental de la parte urbana del DMQ, entre ellas el macrodeslizamiento relicto<sup>3</sup> (superficie aproximada de 1 km<sup>2</sup>) situado en el barrio Aida León, cuyo depósito es considerado estable (ver foto No. 1, Anexo 1 al capítulo 9: Registro Fotográfico)..

En todo caso, estas zonas inestables quedan fuera del corredor del trazado de la Primera Línea del Metro de Quito, con excepción de un sitio localizado en las laderas occidentales de la colina del Panecillo (ver foto No. 2, en el Anexo XX al capítulo 9: Registro Fotográfico) (REVISAR SI ESTÁ BIEN LA CITA), donde se ha identificado la caída de bloques de cangahua en taludes con alturas entre 3 y 24 m, desprendiendo bloques de 1 a 3 m de espesor.

Una evaluación de la peligrosidad de terrenos inestables en Quito se realizó por CODIGEN-DHA/UNDRO (1993) concluyendo que los sitios más inestables relacionados con FRM y erosión se localizaban en varios sectores, con pendientes mayores al 25%, que constituyen las laderas del volcán Pichincha, sobre la cota de 2.900 msnm, en las riberas o rellenos de la red natural de drenaje y en algunas partes del subsuelo de la ciudad, conformado por depósitos lacustres y niveles freáticos superficiales, por licuefacción en caso de sismos. Todos ellos fuera del corredor del trazado de la Primera Línea del Metro de Quito; sin embargo, se menciona la ubicación de quebradas rellenas y depósitos lacustres donde se pueden originar hundimientos y licuefacción.

Otra evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos en el DMQ, realizada por Plaza y Maruri<sup>4</sup> determina que la mayoría de los deslizamientos situados al este de la ciudad (colinas de Puengasí, Lumbisí) son antiguos con escarpes profundos (macrodeslizamientos relictos) y huellas de reactivación muy puntuales, mientras que los ubicados al oeste son más superficiales, menos evidentes y de tipo desprendimiento o caída. Estos FRM se ubican fuera del corredor del trazado de la Primera Línea del Metro de Quito.

De otra parte, el estudio realizado por Peltre<sup>5</sup> reseña y analiza para el área urbana del DMQ los denominados accidentes morfoclimáticos recogidos por el diario El Comercio entre 1900 y 1988. En este trabajo se localizan e identifican derrumbes, hundimientos y flujos de lodo, además de inundaciones, algunos de ellos con magnitudes relevantes, como los aluviones de La Gasca, de la quebrada La Raya y el hundimiento en la avenida de Los Libertadores.

El estudio concluye que los fenómenos identificados constituyen accidentes del drenaje urbano, cuya frecuencia y evolución espacial se relacionan con la intensidad de las lluvias, el crecimiento urbano y las condiciones de la infraestructura del drenaje de la ciudad. En el mapa de accidentes morfoclimáticos (Anexo 2 al capítulo 9: Figuras), se presenta la localización de varios sitios de derrumbe, aluvión, deslave (flujos y deslizamientos-flujos) y hundimientos, tomados del estudio de Peltre. Algunos de estos, están situados dentro del corredor del trazado para la Primera Línea del Metro de Quito, (principalmente en el sector de El Panecillo y el Centro Histórico, quebradas El Tejar y Jerusalén) y la mayoría no presentan rasgos visibles en la actualidad, pues los sitios han sido modificados por construcciones.

Los hundimientos están, en la mayoría de los casos, situados en/o cercanos al curso de las quebradas rellenas y/o modificadas por el sistema de alcantarillado de la ciudad. Como lo demuestra Peltre, todos los hundimientos identificados en su estudio están ubicados en el cauce relleno de una quebrada.

Como se observa en la Figura 9.4 del Anexo 2 al capítulo 9, los accidentes morfoclimáticos tienen mayor frecuencia en los meses correspondientes al período de lluvias en la ciudad; sin embargo, como lo menciona Peltre la evolución de los mismos con respecto a las precipitaciones puede ser diferente.

Una visión de los FRM ocurridos en los últimos años en la zona urbana del DMQ puede ser obtenida a partir del mapa de eventos morfodinámicos (Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda del DMQ, 2009), donde se localizan y tipifican accidentes morfoclimáticos ocurridos entre los años 2006 y el 2009.

Los llamados eventos morfodinámicos corresponden a: aluvión (se trataría de flujo de agua con carga sólida o flujos de lodos), derrumbe (caída y deslizamientos en la acepción de Peltre, P., 1998), deslave (deslizamiento-flujo de lodo), deslizamiento, erosión (probablemente erosión fluvial o por escorrentía superficial), flujo de lodo y hundimiento. Se interpreta esta información como un registro de eventos recopilados por las instituciones

<sup>3</sup> Los FRM relictos corresponden a fenómenos originados en condiciones ambientales y por procesos naturales que no existen en la actualidad.

<sup>4</sup> En The Quito, Ecuador, Earthquake Risk Management Proje. EPN, GEOHAZARDS, IMQ, ORSTOM, OYO Corporation, 1994

<sup>5</sup> En Quebradas y Riesgos Naturales en Quito, Período 1900-1988. Estudios de Geografía, 2, Corporación Editora Nacional-Colegio de Geógrafos del Ecuador, 1989



municipales y otros, de la misma manera, como ha sido realizado para la elaboración de los Mapas de Densidad de Movimientos en Masa en los períodos de 2005 a 2009, presentados en el Atlas de Amenazas Naturales en el Distrito Metropolitano de Quito (Unidad de Gestión de Riesgos de la Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad, 2010).

Como se observa en el mapa, cerca de una decena de sitios se ubica dentro del corredor del trazado de la Primera Línea del Metro de Quito, la mayoría en el sector del Centro Histórico y el Panecillo. Estos sitios fueron objeto de un rápido reconocimiento expeditivo, para concluir que en la actualidad no se observan rasgos de inestabilidad que puedan influir en la seguridad de una obra como el Metro (Anexo 1 al capítulo 9).

Debido al tipo de registro se considera que los eventos corresponden a emergencias atendidas por las instituciones en sitios muy puntuales por la ocurrencia de fenómenos superficiales y de pequeña magnitud (pocos metros cúbicos en caso de caídas y deslizamientos), originados por factores socionaturales, de tal manera que su identificación así como localización pueden ser muy inciertas. De todas maneras, se observa en la Figura 9.5 (Anexo 2 al capítulo 9: Figuras), que los llamados eventos morfodinámicos tienen mayor frecuencia en los meses correspondientes al período de lluvias en la ciudad.

De otra parte, se observa que se presenta una mayor cantidad de eventos morfoclimáticos registrados entre los años 2006 -2009, en las zonas periféricas urbanas actuales de la ciudad, que los ocurridos en los años 1900-1988 en estos mismos sitios.

Los factores causales para la ocurrencia de FRM son múltiples; sin embargo, el tipo de material y la pendiente del terreno son de los más importantes y comúnmente utilizados para realizar evaluaciones preliminares de la susceptibilidad.

Por esta razón se escogió la litología y la pendiente para evaluar la susceptibilidad por FRM de la zona del corredor del trazado de la Primera Línea del Metro de Quito, a través de la noción de distribución de FRM en cada uno de estos factores. Para esto se utilizan los accidentes morfoclimáticos y los eventos morfodinámicos registrados en la zona por Peltre (1989) y la Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda del DMQ (2009), respectivamente (ver Tabla del Anexo 2 al capítulo 9).

Para identificar la litología y las pendientes del terreno se utilizan los mapas elaborados para el Metro Quito (Mapa Litológico, Mapa de Pendientes, Anexo 2). En estos mapas se han localizado y representado los 55 registros localizados en el corredor del trazado del Metro Quito, que corresponden a: 5 deslizamientos, 26 derrumbes (caída o deslizamiento), 15 aluviones (flujo de lodo), 8 hundimientos, y 1 sitio de erosión.

La litología representada en el corredor del trazado de la Primera Línea del Metro de Quito corresponde a: depósito lagunar de ceniza, cangahua sobre sedimentos Machángara, cangahua sobre volcánicos del Pichincha, depósito coluvial.

**Depósito lagunar de ceniza:** se le atribuye una edad cuaternaria. Posee capas horizontales y bien estratificadas de ceniza y en el lugar donde se encuentran depositadas la morfología es plana. En el sector de Chillogallo (78° 32' W, 0° 15' S) su espesor aproximado es de 100 m (en Atlas de Amenazas Naturales del DMQ, 2010).

En esta unidad se registran 2 FRM: 1 deslizamiento, 1 hundimiento.

**Cangahua sobre sedimentos Machángara:** a los sedimentos Machángara se les atribuye una edad pleistocénica. Es una secuencia de lavas, aglomerados tobas y sedimentos mal clasificados (en Atlas de Amenazas Naturales del DMQ, 2010). Estos materiales están cubiertos por la cangahua.

En esta unidad se registran 30 FRM: 2 deslizamientos, 8 aluviones, 15 derrumbes, 4 hundimientos y 1 un sitio de erosión.

**Cangahua sobre volcánicos del Pichincha:** a los volcánicos del Pichincha se les atribuye una edad cuaternaria. Según Hall (1977) el Guagua Pichincha ha tenido volcanismo histórico, tiene una gran caldera todavía con actividad fumarólica (en Atlas de Amenazas Naturales del DMQ, 2010). Estos materiales están cubiertos por la cangahua.

En esta unidad se registran 8 FRM: 1 deslizamiento, 1 aluvión, 4 derrumbes y 2 hundimientos.

**Depósitos coluviales:** se le atribuye una edad cuaternaria. Son materiales retrabajados de las unidades más antiguas que cubren grandes extensiones como la hacienda San José (78° 36' W 0° 14' S), que tiene 12 km de superficie. Estos depósitos se encuentran distribuidos en las laderas del Pichincha y en la zona oriental de la ciudad (en Atlas de Amenazas Naturales del DMQ, 2010).

En esta unidad se registran 14 FRM: 1 deslizamiento, 6 aluviones, 6 derrumbes y 1 hundimiento.

**Cangahua:** se le atribuye una edad cuaternaria. Consiste de una secuencia de capas centimétricas de limos arenosos o arcillosos (material denominado cangahua en el sentido estricto) de colores café amarillento a pardo oscuro, intercalados con pocos depósitos de tefra de lapilli y ceniza. Son comunes las intercalaciones de capas de aspecto de cangahua pero que incluye líticos de andesita y pómez, en porcentajes variables, que se interpretan como flujos de lodo o cangahua retrabajada. Menos frecuentes son las capas de limo de color oscuro, con presencia de material orgánico, que se interpretan como paleosuelos. El espesor observado de la secuencia, no sobrepasa los 60 m, siendo frecuentes los espesores del orden de 40 m. Las capas de esta unidad se caracterizan por su depositación periclinal, que indicaría un origen más bien eólico (en The Quito Ecuador, Earthquake Risk Management Project, 1994).

Como la cangahua cubre las rocas de las unidades más antiguas y tiene una amplia distribución en el DMQ es posible que la mayoría de los FRM (deslizamiento, derrumbe, aluvión) se originen en este material, o en todo caso al menos en 39 de los 55 registrados, ya que el material suprayace los sedimentos Machángara y los volcánicos del Pichincha.



De otra parte, los accidentes morfoclimáticos y los eventos morfodinámicos considerados, son en su mayoría (totalidad en el corredor del trazado de la Primera Línea del Metro de Quito) fenómenos que han afectado solo la parte superficial de los materiales, movilizandolos pequeños volúmenes.

El Mapa de Pendientes (Anexo No. 2) presenta seis rangos de pendientes en porcentajes entre 0% y mayor que 50%; el factor pendiente del terreno en su relación con la susceptibilidad para originar FRM en el corredor del trazado de la Primera Línea del Metro de Quito no es evidente a la escala del mapa, considerando además que los accidentes morfoclimáticos y eventos morfodinámicos registrados son superficiales y de pequeño volumen.

Según el Cuadro 9.3, los deslizamientos, derrumbes y aluviones se localizan mayormente en zonas de pendientes menores a 25%, que son las pendientes de la superficie del terreno correspondientes al corredor del trazado para la Primera Línea del Metro de Quito. Este nivel de pendiente es el más alto para el eje del trazado y se localiza en el sector de la colina de El Panecillo, donde la mayoría de los sitios inestables registrados corresponden a caídas y deslizamientos superficiales, que se relacionan con taludes excavados para construcciones.

### Cuadro 9.3 Pendientes y taludes de remoción en masa

PENDIENTES Y FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA						
RANGO	DESLIZAMIENTO	EROSIÓN	ALUVIÓN	DERRUMBE	HUNDIMIENTOS	TOTAL
0-5	-	-	5	1	4	10
5-12	1	-	7	11	2	21
12-25	3	1	3	11	2	20
25-35	-	-	-	3	-	3
35-50	1	-	-	-	-	1
50-75	-	-	-	-	-	-
TOTAL						55

Fuente: Elaboración propia

De esta manera se considera que dentro del corredor para el trazado de la Primera Línea del Metro de Quito no se tiene una relación evidente entre las pendientes identificadas a la escala del mapa y los FRM, pues estos se originan principalmente en sitios puntuales de taludes excavados en la cangahua para la construcción.

Finalmente, se expone una breve descripción de las características ingenieriles de la cangahua y de su forma de ruptura, considerando que es un material de amplia distribución en la superficie del corredor del trazado de la Primera Línea del Metro de Quito y donde se han registrado el mayor número de FRM (caídas, deslizamientos).

Como se reconoce, el término cangahua es utilizado para referirse a una secuencia de materiales (Unidad Cangahua) o a una capa de material. Cuando se refiere a una secuencia de material se trata de capas

centimétricas a métricas de toba volcánica, limo arenosos o arcillosos con diferente grado de cementación, intercaladas con capas centimétricas de lapilli, arenas y depósitos coluviales con matriz de cangahua, cuyo espesor puede ser hasta de 60 m en el DMQ. Cuando se utiliza para denominar una capa se describe a la toba volcánica que conforma la secuencia.

La secuencia puede ser muy heterogénea en sus propiedades ingenieriles (resistencia al corte, permeabilidad, erosionabilidad) tanto vertical como horizontalmente, del hecho de su variación litológica y procesos de formación. En general, forma y soporta taludes fuertemente inclinados (en las quebradas y excavaciones), pero fácilmente erosionables por la escorrentía superficial y el viento. Las capas de lapilli y arenas más permeables, poco cementadas y deleznales forman contrapendientes que facilitan la generación de FRM de tipo caída. La toba volcánica, con diferente cementación, compactación y dureza es muy susceptible a la meteorización por ciclos de secado-mojado y se agrieta fácilmente, disminuyendo su resistencia al corte.

La disposición periclinal de las capas, aunque en general presenta poca inclinación, cuando se inclina en la misma dirección de las laderas, aumenta la posibilidad de deslizamientos en los taludes altos.

Para las capas de toba volcánica el parámetro físico con menor dispersión parece ser la densidad y el de mayor dispersión es la humedad, en tanto que los esfuerzos pico parecen ser los menos dispersos de las características mecánicas (Plaza. G., 1990).

Crespo (1989) propone un mecanismo de ruptura progresivo para los taludes de cangahua de la siguiente manera:

- Iniciación de una grieta en la cabeza del talud como producto de altos valores de esfuerzos tensionales orientados.
- Socavamiento en la base del talud que produce un incremento de esfuerzos cortantes, suficientes para propagar la grieta.
- Propagación de la grieta de tensión y formación de un bloque superficial o loseta (slab) en la cara del talud.
- Falla del material y desprendimiento del bloque limitado por la grieta de tensión.
- Reinicio del ciclo.

Crespo (1989) considera que la concentración de esfuerzos es más significativa en taludes verticales y las condiciones de humedad aumentan significativamente la concentración de esfuerzos en el pie del talud.

La observación realizada en 8 taludes con rupturas, formados por cangahua en el sector del Panecillo (Yugsi, F., 2004), con alturas entre 5,8 a 24,0 m e inclinación entre 67 y 88 grados, permiten concluir que la intersección de la superficie de ruptura y el talud se localiza en el tercio superior del mismo. La superficie de ruptura no estaba asociada a un plano de debilidad preexistente (diaclasa). La mayoría de los planos de falla son superficiales y



paralelos a la superficie del talud con una ligera inclinación hacia la intersección y las masas desprendidas corresponden a la forma de losetas. En algunos casos se observó socavamiento de estratos arenosos o compuestos por lapilli.

### 9.2.6 Conclusiones y recomendaciones

- Los deslizamientos rotacionales y traslacionales, caídas, deslizamientos complejos, activos y antiguos de variada magnitud y volúmenes considerables, y macro FRM relictos (deslizamiento y flujos) identificados en el DMQ, están localizados fuera del corredor del trazado de la Primera Línea del Metro de Quito.
- Dentro del corredor del trazado para la Primera Línea del Metro de Quito se han identificado y localizado, desde 1900 a 1988, 45 FRM (caídas, flujos, deslizamientos) y hundimientos relacionados con condiciones morfológicas y antrópicas del medio, la mayoría han sido superficiales y han movilizado pequeños volúmenes de material. Actualmente estos sitios no presentan rasgos visibles del fenómeno porque han sido modificados debido a la construcción de obras urbanas (quebrada Jerusalén-Avenida 24 de Mayo), al mejoramiento de los sistemas de drenaje urbano o a las mejores condiciones de protección de los taludes.
- Entre los años 2006 y 2009 se ha registrado una decena de eventos tipificados como deslizamientos, derrumbes, hundimientos y erosión dentro del corredor del trazado para la Primera Línea del Metro de Quito, que constituyen registros de atención de emergencias por parte de las instituciones municipales y otros.
- Actualmente estos sitios tampoco presentan rasgos visibles del fenómeno y no constituyen peligro para el corredor del trazado para la Primera Línea del Metro de Quito.
- La cangahua tiene una amplia distribución en el DMQ, pero no constituyen una amenaza para la ubicación de la Primera Línea del Metro de Quito.
- Las 21 quebradas rellenadas que atraviesan el corredor del trazado de la Primera Línea del Metro de Quito constituyen sitios susceptibles para la erosión subterránea y hundimientos, considerando lo ocurrido en el pasado, a menos que la reconstrucción del sistema de drenaje de la ciudad en los últimos años disminuya esta posibilidad.
- Dentro del corredor del trazado de la Primera Línea del Metro de Quito no se tiene una relación evidente entre las pendientes identificadas a la escala del mapa y los FRM (caídas, deslizamientos), pues estos se originan principalmente en sitios puntuales de taludes excavados en la cangahua para la construcción.

- La susceptibilidad por FRM en el corredor del trazado de la Primera Línea del Metro de Quito es baja, considerando los datos históricos y actuales utilizados.
- Los flujos serían los FRM de mayor posibilidad de ocurrencia en las laderas del volcán Pichincha, debido a las características de los materiales y a factores desencadenantes como los sismos, lluvias excepcionales, y acumulación de cenizas en caso de erupciones volcánicas. Se recomienda una evaluación de la amenaza por flujos.

## 9.3 RIESGOS SOCIALES

Los riesgos sociales en el proyecto de la Primera Línea del Metro de Quito representan una importancia especial debido a que el área del proyecto se encuentra dentro de la ciudad de Quito.

La evaluación de estos riesgos permite diseñar un plan social que plantee medidas preventivas y correctivas ante eventuales afectaciones al proyecto por parte de la población, ONG, autoridades locales y otras organizaciones de diversa índole.

Los riesgos potenciales se definen como aquellos conflictos sociales que, debido a su naturaleza impredecible y errática, podrían afectar las actividades del proyecto. Estos no se podrán negociar o solucionar necesariamente con los programas de relaciones comunitarias propuestos, sino que tendrán que solucionarse a través de medidas de prevención y mitigación. Estas medidas se presentarán en el PMA.

La evaluación del riesgo de los peligros sociales incluye las particularidades que pueden amenazar al proyecto como son: presencia de grupos activistas, paralización de actividades por parte de pobladores de las comunidades cercanas al proyecto y vandalismo. Estos aspectos se describen a continuación y el análisis de los riesgos sociales se presenta en el Cuadro 9.4.

**Paralización de actividades por pobladores:** por diferentes motivos como: crisis económica, desacuerdos con las autoridades locales y nacionales, desacuerdos entre actores de la región, o por expectativas insatisfechas sobre compensaciones sociales por parte de la UNMQ, la población directamente afectada por las actividades de construcción de la Primera Línea del Metro de Quito podría llevar a cabo paralizaciones de las actividades con medidas de hecho tales como impedimento del paso de personal, equipos y máquinas. Esto podría amenazar el desenvolvimiento normal de las actividades del proyecto.

**Asaltos y robos:** el personal del proyecto puede ser asaltado por delincuentes comunes. Esto representa una grave amenaza para la integridad y la vida de los trabajadores. De igual manera, delincuentes comunes pueden robar equipos del proyecto, lo cual también se convierte en una amenaza para el desenvolvimiento normal de las actividades. Existe también la posibilidad de asaltos hacia las instalaciones que la UNMQ o sus contratistas mantengan en el área del proyecto.



**Huelgas de trabajadores:** los trabajadores como integrantes principales en el desenvolvimiento del proyecto, también pueden constituirse en un riesgo potencial al normal funcionamiento del mismo, el riesgo se fundamenta en paralizaciones temporales de un grupo o de todos los trabajadores de las empresas contratistas, que también puede generar la toma de una o varias instalaciones.

**Afectaciones a la salud de los trabajadores y la población local:** este factor es importante, puesto que por el ingreso de gente foránea pueden ocurrir epidemias o enfermedades masivas como consecuencia del ingreso de trabajadores o pobladores portadores de virus y enfermedades.

#### Cuadro 9.4 Evaluación de riesgos sociales

Riesgos sociales	Construcción y operación
Paralización de actividades por parte de la comunidad	Moderado
Asaltos y robos	Moderado-Bajo
Huelgas de trabajadores	Moderado
Epidemias y enfermedad masiva	Bajo

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, de la evaluación preliminar de riesgos sociales se concluye:

- El riesgo de paro por parte de las comunidades se puede considerar moderado en todas las fases y etapas del proyecto.
- Los riesgos de asaltos y robos son entre bajo y moderado.
- El riesgo de huelgas provocadas por trabajadores se considera moderado.
- Las epidemias y enfermedades masivas constituyen un bajo riesgo.

## 9.4 RIESGOS DEL PROYECTO AL AMBIENTE

### 9.4.1 Incendios

En cualquier momento podría ocurrir un incendio, dentro de las facilidades del proyecto. Los lugares más susceptibles de incendiarse son el área de máquinas y la zona de almacenamiento de combustibles. A pesar de todos los cuidados y procedimientos de seguridad de acuerdo a la normativa vigente de la UNMQ y empresas contratistas, ningún lugar está exento del peligro de ocurrencia de un incendio. Por lo tanto, este riesgo está considerado como moderado.

### 9.4.2 Fugas y derrames

En el área del proyecto pueden ocurrir fugas y derrames de hidrocarburos (combustibles de vehículos, maquinaria y equipos). Las fugas y derrames pueden ocurrir al momento de la carga y descarga del producto, en el transporte y almacenamiento de combustible y en el área de almacenamiento.

Un buen sistema de drenaje con trampas de grasa incluidas prevendrá la salida del combustible derramado. De esta manera, también se previene la contaminación por fugas y derrames al suelo y cuerpos de agua, fuera de las áreas de trabajo. Debido a que se pueden dar fugas y derrames en más de una fase del proyecto, se considera un riesgo moderado.

### 9.4.3 Generación de Residuos

Durante la construcción y operación del proyecto se generarán diferentes tipos de residuos dependiendo de la fase en la que se encuentre. En principio, en la fase de construcción los desechos serán principalmente de material particulado producto del movimiento de tierras; y residuos de la construcción como piedra, hormigón, etc. Está previsto llevar este material a las escombreras asignadas y autorizadas a lo largo de esta fase.

En la fase en que la tuneladora empiece a trabajar habrá la presencia de residuos de tierra y lodos de excavación, estos podrían constituirse en un riesgo, si los mismos provienen de un sitios contaminados por actividades externas al proyecto, como es el caso de estaciones de gasolina mal manejadas, sistemas sanitarios deficientes o áreas industriales que han contaminado los suelos.

Durante la fase de operación, los desechos provendrán de las estaciones, principalmente serán residuos producidos por empleados de la Primera Línea del Metro así como de los usuarios de las instalaciones. Para esto, se proveerán de contenedores diferenciados para la correcta disposición de dichos residuos. El riesgo por generación de residuos varía dependiendo de la fase en la que se encuentre el Proyecto pero en general se concluye que es moderado para la mayoría de procesos y fases.

Estos residuos se pueden diversificar dependiendo de su origen (residuos domiciliarios, agrícolas o industriales), su composición orgánica (residuos orgánico e inorgánico), peligrosidad (residuos radioactivos, explosividad, inflamabilidad, corrosividad y toxicidad) y riesgo biológico (residuo patógeno y residuo inerte), los cuales causan diferentes tipos de daños ambientales para: personas, animales y vegetación en general.

### 9.4.4 Afectaciones Biológicas

Debido a que en la Etapa de Construcción y Funcionamiento se generan residuos, de cualquier tipo, como los antes mencionados; se consideran afectaciones para los seres vivos dependiendo de la composición de los mismos; es así, que la generación de basura y su almacenamiento temporal puede provocar alteraciones ambientales por riesgos de tipo biológico como bacterias, virus y hongos, presentes generalmente en la basura y desperdicios que genera la presencia de personas y sobretodo en la etapa de funcionamiento para cada estación.



## 9.5 RIESGOS A LA SALUD OCUPACIONAL

### 9.5.1 Objetivo general

El objetivo del estudio es identificar los riesgos cualitativos a la seguridad y salud de los trabajadores que se podrían presentar en la construcción, operación y cierre de la Primera Línea del Metro de Quito.

### 9.5.2 Objetivos específicos

- Identificar los principales riesgos preliminares que se pueden generar durante la construcción y operación de la Primera Línea del Metro de Quito.
- Impedir accidentes y efectos nocivos para la salud de quienes trabajan en la construcción y operación de la Primera Línea del Metro de Quito, así como las enfermedades derivadas de ese trabajo.
- Ofrecer orientaciones para delimitar una estructura administrativa, legal y de capacitación mediante la cual puedan llevarse a la práctica medidas preventivas.
- Sugerir las alternativas de solución que se podrían implementar en el corto, mediano y largo plazo, para su incorporación y estructuración detallada en el Plan de Manejo Ambiental.

### 9.5.3 Evaluación de riesgos

Con la finalidad de definir los riesgos a la salud ocupacional en el proyecto se procedió con la evaluación de riesgos, obteniéndose como resultado las respectivas medidas correctivas que permitan prevenir y reducir los accidentes de trabajo, así como la creación de ambientes de trabajo seguros. La evaluación de riesgos se realizó utilizando la metodología de FINE, cuyo procedimiento se detalla a continuación:

#### A. Descripción de la matriz de riesgos

##### Identificación de riesgos

La matriz de riesgos a la salud ocupacional se presenta en el Anexo 16 del Capítulo Anexos, y ha sido descrita para cada una de las fases del Proyecto.

La matriz de riesgos está concebida para identificar y evaluar los riesgos que pueden ocurrir como consecuencia del desarrollo de las actividades de cualquier proceso. Para la identificación del riesgo, las preguntas que deben plantearse son:

¿Existe una fuente de impacto?, ¿Quién o qué puede ser impactado? Y ¿Cómo puede ocurrir el impacto?

### Tipos de riesgos

A continuación se presenta una lista de los tipos de riesgos que se manejan más frecuentemente, la lista quizá no esté completa, más bien depende de las actividades y de las necesidades de evaluación de cada proyecto o proceso en particular.

#### Cuadro 9.5 Tipos de riesgos

<b>Físicos</b>	Ruido Vibraciones Radiaciones ionizantes Radiaciones no ionizantes Temperaturas extremas Presión
<b>Químicos</b>	Gases Vapores Polvos Nieblas
<b>Biológicos</b>	Virus Bacterias Hongos
<b>Ergonómicos</b>	Levantamiento de cargas Movimientos repetitivos Posturas inadecuadas Monotonía Número adecuado de trabajadores por espacio
<b>Psicosociales</b>	Estrés Acoso Desórdenes psicosomáticos Patologías Robos
<b>Ambientales</b>	Generación de desechos Inversión térmica Cambio climático

Fuente: Elaboración propia, 2012

### Estimación de riesgos

Para cada peligro detectado se estima el riesgo, determinando la potencial severidad del impacto, las consecuencias y la probabilidad de que ocurra el hecho.



### **Severidad del impacto**

Partes del cuerpo pueden verse afectadas.

### **Naturaleza del impacto**

#### **Cuadro 9.6 Naturaleza del impacto**

<b>Ligeramente dañino (LD)</b>	Impactos superficiales: cortes, magulladuras pequeñas Molestias e irritación: irritación de los ojos por polvo, dolor de cabeza, disconfort
<b>Dañino (D)</b>	Laceraciones Quemaduras Sordera Dermatitis
<b>Extremadamente dañino (ED)</b>	Amputaciones Fracturas Intoxicaciones Cáncer

Fuente: Elaboración propia, 2012

### **Probabilidad de ocurrencia**

La probabilidad de que ocurra el impacto se puede graduar, desde baja hasta alta. Para evaluarla es necesario disponer de información adicional relacionada con: estadísticas de los accidentes más comunes; trabajadores sensibles o de mayor susceptibilidad; qué tipo de protección se da a los trabajadores, entre otras.

#### **Cuadro 9.7 Probabilidad de ocurrencia**

<b>Probabilidad alta (A)</b>	El impacto ocurrirá siempre o casi siempre
<b>Probabilidad media (M)</b>	El impacto ocurrirá en algunas ocasiones
<b>Probabilidad baja (B)</b>	El impacto ocurrirá raras veces

Fuente: Elaboración propia, 2012

### **Magnitud del Riesgo**

#### **Cuadro 9.8 Magnitud del riesgo**

<b>Riesgo trivial (T)</b>	No se requiere acción específica
<b>Tolerable (TO)</b>	No se requiere mejorar la acción preventiva, pero se deben considerar mejoras que no supongan una carga económica importante.
<b>Moderado (M)</b>	Se debe hacer esfuerzos para reducir el riesgo
<b>Importante (I)</b>	No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo
<b>Intolerable (IN)</b>	No debe comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo

Fuente: Elaboración propia, 2012

La matriz de evaluación riesgos está diseñada siguiendo los siguientes pasos:

- En la primera columna se indican las actividades del proyecto y se identifican los tipos de riesgos que pueden generarse.
- La segunda columna evalúa la probabilidad de ocurrencia, ésta se subdivide en tres columnas que gradúan esta probabilidad.
- La tercera columna hace una estimación de la severidad del impacto causado, igualmente se subdivide en tres columnas que gradúan dicha severidad.
- La cuarta columna contiene la evaluación del riesgo, el criterio para esta evaluación está contenido en la matriz de evaluación detallada en este capítulo.
- Finalmente hay una columna en la que se definen algunas de las medidas que deben tomarse para reducir los riesgos.

La identificación y evaluación de riesgos depende del conocimiento de las actividades que se van a desarrollar, de la tecnología, del personal utilizado, de las características físicas y ambientales del sitio de trabajo, así como también de la experiencia y conocimiento de la persona que evalúa.

Como resultado de la evaluación de riesgos para la Primera Línea del Metro de Quito se obtuvo la matriz, que se presenta en el Cuadro 9.9:



## Cuadro 9.9 Matriz de riesgos ambientales Proyecto Primera Línea del Metro de Quito

No.	Riesgo Identificado	Probabilidad de Ocurrencia			Severidad del Impacto			Valoración del Riesgo					Medidas
		B	M	A	LD	D	ED	T	TO	M	I	IN	
<b>RETIRO Y/O REUBICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA Y PROPIEDADES</b>													
<b>Físicos</b>													
1	Ruido	X			X			X					Dotación de equipos de protección personal
2	Vibraciones	X			X			X					Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
3	Caídas de personal	X			X			X					Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
4	Caída de herramientas y piezas	X			X			X					Capacitación y entrenamiento
5	Peligros asociados con manejo de equipos		X		X				X				Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
6	Deslizamientos	X			X			X					Estabilización
<b>Químicos</b>													
7	Polvo		X		X				X				Uso de equipo de protección personal
	Gases y vapores	X			X			X					Uso de equipo de protección personal
<b>Ergonómicos</b>													
8	Movimientos repetitivos	X			X			X					Equipos de protección
9	Posturas inadecuadas	X			X			X					Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
10	Levantamiento de cargas		X		X				X				Equipos de protección
11	Número adecuado de personas por espacio físico		X		X			X					Organizar a todo el personal
<b>Psicosociales</b>													
12	Estrés	X			X			X					Distracción
13	Robo		X			X				X			Extremar medidas de seguridad
<b>Ambientales</b>													
14	Generación de residuos			X	X					X			Adecuación de un sitio para la disposición temporal de los desechos
<b>ADECUACIÓN Y USO DE PATIO DE MAQUINARIAS E INSTALACIONES AUXILIARES</b>													
<b>Físicos</b>													
1	Ruido		X		X				X				Dotación de equipos de protección personal
2	Vibraciones	X			X			X					Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
3	Caídas de personal	X			X			X					Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
4	Caída de herramientas y piezas	X			X			X					Capacitación y entrenamiento
5	Peligros asociados con manejo de equipos		X		X				X				Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
	Incendios	X				X			X				Equipos de protección, capacitación
	Fallas eléctricas	X			X			X					Equipos de protección, capacitación
<b>Químicos</b>													
7	Polvo		X			X				X			Uso de equipo de protección personal
	Gases y vapores	X			X			X					Uso de equipo de protección personal
	Olores	X			X			X					Uso de equipo de protección personal
<b>Ergonómicos</b>													
8	Movimientos repetitivos	X			X			X					Equipos de protección
9	Posturas inadecuadas		X			X				X			Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
10	Levantamiento de cargas		X		X				X				Equipos de protección
<b>Psicosociales</b>													
11	Estrés	X			X			X					Distracción
12	Robo		X			X				X			Extremar medidas de seguridad
<b>Ambientales</b>													
13	Generación de residuos			X	X					X			Adecuación de un sitio para almacenar desechos
	Derrame de combustibles		X			X				X			Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación



No.	Riesgo Identificado	Probabilidad de Ocurrencia			Severidad del Impacto			Valoración del Riesgo					Medidas
		B	M	A	LD	D	ED	T	TO	M	I	IN	
<b>PREPARACIÓN DE ESCOMBRERAS</b>													
<b>Físicos</b>													
1	Ruido	X			X			X					Dotación de equipos de protección personal
2	Vibraciones	X			X			X					Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
3	Caídas de personal		X			X				X			Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
4	Caída de herramientas y piezas	X			X			X					Capacitación y entrenamiento
5	Peligros asociados con manejo de equipos		X			X				X			Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
6	Deslizamientos			X		X					X		Mantenimiento
<b>Químicos</b>													
7	Polvo			X		X					X		Uso de equipo de protección personal
<b>Ergonómicos</b>													
8	Movimientos repetitivos	X			X			X					Equipos de protección
9	Posturas inadecuadas		X			X				X			Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
10	Levantamiento de cargas		X			X				X			Equipos de protección
<b>Psicosociales</b>													
11	Estrés	X			X			X					Distracción
12	Robo		X			X				X			Extremar medidas de seguridad
<b>Ambientales</b>													
13	Generación de residuos	X			X			X					Adecuación de un sitio para almacenar desechos
	Derrame de combustibles		X			X				X			Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
<b>ADECUACIÓN Y USO DE CAMPAMENTOS</b>													
<b>Físicos</b>													
1	Ruido	X			X			X					Dotación de equipos de protección personal
3	Caídas de personal	X			X			X					Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
4	Caída de herramientas y piezas	X			X			X					Capacitación y entrenamiento
5	Peligros asociados con manejo de equipos	X			X			X					Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
	Incendios		X			X				X			Equipos de protección, capacitación
	Fallas eléctricas	X				X			X				Equipos de protección, capacitación
<b>Químicos</b>													
7	Polvo	X			X			X					Uso de equipo de protección personal
	Olores	X			X			X					Uso de equipo de protección personal
<b>Ergonómicos</b>													
8	Movimientos repetitivos	X			X			X					Equipos de protección
9	Posturas inadecuadas	X			X			X					Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
10	Levantamiento de cargas		X		X				X				Equipos de protección
	Número adecuado de personas por espacio físico		X		X			X					Organización del personal por espacios
<b>Psicosociales</b>													
11	Estrés	X			X			X					Distracción
12	Robo		X			X				X			Extremar medidas de seguridad



No.	Riesgo Identificado	Probabilidad de Ocurrencia			Severidad del Impacto			Valoración del Riesgo					Medidas
		B	M	A	LD	D	ED	T	TO	M	I	IN	
	Hacinamiento	X				X			X				Adecuar sitio para albergar al personal
<b>Ambientales</b>													
13	Generación de residuos		X			X				X			Adecuación de un sitio para almacenar desechos
<b>ABASTECIMIENTO DE AGUA, ENERGÍA Y SERVICIOS</b>													
<b>Físicos</b>													
3	Caídas de personal	X			X			X					Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
4	Caída de herramientas y piezas	X			X			X					Capacitación y entrenamiento
5	Peligros asociados con manejo de equipos		X		X				X				Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
	Incendios	X				X			X				Equipos de protección, capacitación
	Fallas eléctricas		X			X				X			Equipos de protección, capacitación
<b>Ergonómicos</b>													
10	Levantamiento de cargas	X			X			X					Equipos de protección, capacitación
<b>Psicosociales</b>													
11	Estrés	X			X			X					Distracción
12	Robo		X			X				X			Extremar medidas de seguridad
<b>Ambientales</b>													
13	Generación de residuos	X			X			X					Adecuación de un sitio para almacenar desechos
<b>TRANSPORTE Y ALMACENAJE DE MATERIALES</b>													
<b>Físicos</b>													
3	Caídas de personal	X			X			X					Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
<b>Químicos</b>													
7	Polvo		X			X				X			Uso de equipo de protección personal
<b>Ergonómicos</b>													
9	Posturas inadecuadas	X			X			X					Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
10	Levantamiento de cargas		X			X				X			Equipos de protección
<b>Psicosociales</b>													
11	Estrés	X			X			X					Distracción
12	Robo		X			X				X			Extremar medidas de seguridad
<b>Ambientales</b>													
13	Generación de residuos		X			X				X			Adecuación de un sitio para almacenar desechos
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>													
<b>Físicos</b>													
1	Ruido	X			X			X					Dotación de equipos de protección personal
2	Vibraciones		X		X				X				Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
3	Caídas de personal		X			X				X			Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
4	Caída de herramientas y piezas	X			X			X					Capacitación y entrenamiento
5	Peligros asociados con manejo de equipos		X			X				X			Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
6	Deslizamientos		X			X				X			Mantenimiento
<b>Químicos</b>													
7	Polvo		X			X				X			Uso de equipo de protección personal
<b>Ergonómicos</b>													
9	Posturas inadecuadas		X			X				X			Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
10	Levantamiento de cargas		X			X				X			Equipos de protección



No.	Riesgo Identificado	Probabilidad de Ocurrencia			Severidad del Impacto			Valoración del Riesgo					Medidas
		B	M	A	LD	D	ED	T	TO	M	I	IN	
<b>Psicosociales</b>													
11	Estrés	X			X			X					Distracción
12	Robo		X			X				X			Extremar medidas de seguridad
<b>Ambientales</b>													
	Derrame de combustibles		X			X				X			Equipos de protección, capacitación
<b>OBRAS CIVILES</b>													
<b>Físicos</b>													
1	Ruido		X			X				X			Dotación de equipos de protección personal
2	Vibraciones		X			X				X			Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
3	Caídas de personal		X			X				X			Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
4	Caída de herramientas y piezas		X			X				X			Capacitación y entrenamiento
5	Peligros asociados con manejo de equipos		X			X				X			Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
	Incendios	X			X			X					Equipos de protección, capacitación
	Fallas eléctricas	X			X			X					Equipos de protección, capacitación
<b>Químicos</b>													
7	Polvo		X		X				X				Uso de equipo de protección personal
	Olores	X			X			X					Uso de equipo de protección personal
<b>Ergonómicos</b>													
8	Movimientos repetitivos	X			X			X					Equipos de protección
9	Posturas inadecuadas	X				X			X				Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
10	Levantamiento de cargas			X		X					X		Equipos de protección
	Número adecuado de personas por espacio físico		X		X			X					Organización del personal por espacios
<b>Psicosociales</b>													
11	Estrés	X			X			X					Distracción
12	Robo		X			X				X			Extremar medidas de seguridad
<b>Ambientales</b>													
13	Generación de residuos		X			X				X			Adecuación de un sitio para almacenar desechos
	Derrame de combustibles		X			X				X			Uso de equipo de protección personal
<b>RETIRO, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN DE ESCOMBROS</b>													
<b>Físicos</b>													
1	Ruido		X		X				X				Dotación de equipos de protección personal
2	Vibraciones	X			X			X					Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
3	Caídas de personal	X			X			X					Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
4	Caída de herramientas y piezas	X			X			X					Capacitación y entrenamiento
5	Peligros asociados con manejo de equipos		X			X				X			Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
6	Deslizamientos		X			X				X			Mantenimiento
<b>Químicos</b>													
7	Polvo		X			X				X			Uso de equipo de protección personal
<b>Ergonómicos</b>													
9	Posturas inadecuadas		X		X				X				Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
10	Levantamiento de cargas		X			X				X			Equipos de protección



No.	Riesgo Identificado	Probabilidad de Ocurrencia			Severidad del Impacto			Valoración del Riesgo					Medidas
		B	M	A	LD	D	ED	T	TO	M	I	IN	
<b>Psicosociales</b>													
11	Estrés	X			X			X					Distracción
12	Robo		X			X				X			Extremar medidas de seguridad
<b>Ambientales</b>													
13	Generación de residuos	X			X			X					Adecuación de un sitio para almacenar desechos
	Derrame de combustibles		X			X				X			Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
<b>EQUIPAMIENTO</b>													
<b>Físicos</b>													
1	Ruido	X			X			X					Dotación de equipos de protección personal
3	Caídas de personal		X		X				X				Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
4	Caída de herramientas y piezas		X			X				X			Capacitación y entrenamiento
5	Peligros asociados con manejo de equipos	X				X			X				Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
	Fallas eléctricas		X		X				X				Equipos de protección, capacitación
<b>Químicos</b>													
7	Polvo												Uso de equipo de protección personal
<b>Ergonómicos</b>													
9	Posturas inadecuadas		X			X				X			Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
10	Levantamiento de cargas		X			X				X			Equipos de protección
<b>Psicosociales</b>													
11	Estrés	X			X			X					Distracción
12	Robo		X			X				X			Extremar medidas de seguridad
<b>Ambientales</b>													
13	Generación de residuos		X			X				X			Adecuación de un sitio para almacenar desechos
33	<b>PUESTA EN FUNCIONAMIENTO</b>												Monitoreo de salud, chequeos médicos
<b>Físicos</b>													
1	Ruido		X			X				X			Dotación de equipos de protección personal
2	Vibraciones	X				X			X				Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
5	Peligros asociados con manejo de equipos		X			X				X			Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
	Fallas eléctricas	X				X			X				Equipos de protección, capacitación
<b>Ergonómicos</b>													
10	Levantamiento de cargas		X			X				X			Equipos de protección
<b>Psicosociales</b>													
11	Estrés	X			X			X					Distracción
12	Robo		X			X			X				Extremar medidas de seguridad
<b>Ambientales</b>													
13	Generación de residuos	X			X			X					Adecuación de un sitio para almacenar desechos
	Derrame de combustibles												Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
<b>CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>													
<b>Físicos</b>													
2	Ruido	X			X			X					Dotación de equipos de protección personal
3	Caídas de personal	X			X			X					Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
4	Caída de herramientas y piezas	X			X			X					Capacitación y entrenamiento
5	Peligros asociados con manejo de equipos		X			X				X			Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
	Fallas eléctricas	X			X			X					Equipos de protección, capacitación



No.	Riesgo Identificado	Probabilidad de Ocurrencia			Severidad del Impacto			Valoración del Riesgo					Medidas
		B	M	A	LD	D	ED	T	TO	M	I	IN	
<b>Químicos</b>													
7	Polvo	X			X			X					Uso de equipo de protección personal
<b>Ergonómicos</b>													
10	Levantamiento de cargas		X			X				X			Equipos de protección
<b>Psicosociales</b>													
11	Estrés	X			X			X					Distracción
12	Robo		X			X				X			Extremar medidas de seguridad
<b>Ambientales</b>													
13	Generación de residuos		X			X				X			Adecuación de un sitio para almacenar desechos
<b>CONTRATACIÓN DE PERSONAL</b>													
<b>Biológicos</b>													
37	Virus		X			X				X			Vacunas, medicina preventiva
38	Bacterias		X			X				X			Vacunas, medicina preventiva
39	Hongos		X			X				X			Aseo, aireación, orden y limpieza
<b>Psicosociales</b>													
40	Estrés		X			X				X			Uso de equipo de protección personal
	Robo		X			X				X			Extremar medidas de seguridad
53	<b>ABASTECIMIENTO</b>												Dotación de equipos de protección personal
<b>Ergonómicos</b>													
10	Levantamiento de cargas		X			X				X			Equipos de protección
<b>Psicosociales</b>													
11	Estrés	X			X			X					Distracción
12	Robo		X			X				X			Extremar medidas de seguridad
<b>Ambientales</b>													
13	Generación de residuos		X			X				X			Adecuación de un sitio para almacenar desechos
	Derrame de combustibles		X			X				X			Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
57	<b>GENERACIÓN DE DESECHOS</b>												Distracción, Descanso
<b>Químicos</b>													
7	Polvo	X			X			X					Uso de equipo de protección personal
	Olores	X				X			X				Uso de equipo de protección personal
<b>Ergonómicos</b>													
10	Levantamiento de cargas	X			X			X					Equipos de protección
<b>Ambientales</b>													
13	Generación de residuos		X			X				X			Adecuación de un sitio para almacenar desechos
<b>RETIRO DE EQUIPOS E INSTALACIONES</b>													
<b>Físicos</b>													
1	Ruido		X			X				X			Dotación de equipos de protección personal
2	Vibraciones		X			X				X			Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
3	Caídas de personal		X			X				X			Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
4	Caída de herramientas y piezas		X			X				X			Capacitación y entrenamiento
5	Peligros asociados con manejo de equipos		X			X				X			Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
	Incendios		X			X				X			Equipos de protección, capacitación
	Fallas eléctricas		X			X				X			Equipos de protección, capacitación
<b>Químicos</b>													
7	Polvo		X			X				X			Uso de equipo de protección personal



No.	Riesgo Identificado	Probabilidad de Ocurrencia			Severidad del Impacto			Valoración del Riesgo					Medidas
		B	M	A	LD	D	ED	T	TO	M	I	IN	
<b>Ergonómicos</b>													
9	Posturas inadecuadas	X			X			X					Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
10	Levantamiento de cargas		X			X				X			Equipos de protección
<b>Psicosociales</b>													
11	Estrés		X			X				X			Distracción
12	Robo		X			X				X			Extremar medidas de seguridad
<b>Ambientales</b>													
13	Generación de residuos		X			X				X			Adecuación de un sitio para almacenar desechos
	Derrame de combustibles		X			X				X			Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
<b>LIMPIEZA Y REHABILITACIÓN</b>													
<b>Físicos</b>													
3	Caídas de personal	X				X			X				Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación
4	Caída de herramientas y piezas	X			X			X					Capacitación y entrenamiento
5	Peligros asociados con manejo de equipos		X			X				X			Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
<b>Químicos</b>													
7	Polvo		X			X				X			Uso de equipo de protección personal
<b>Ergonómicos</b>													
9	Posturas inadecuadas	X			X			X					Capacitación y entrenamiento en el manejo de equipos
10	Levantamiento de cargas		X			X				X			Equipos de protección
<b>Psicosociales</b>													
11	Estrés	X			X			X					Distracción
12	Robo		X			X				X			Extremar medidas de seguridad
<b>Ambientales</b>													
13	Generación de residuos		X			X				X			Adecuación de un sitio para almacenar desechos
	Derrame de combustibles		X			X				X			Protección alrededor de los equipos e instalaciones, capacitación

Simbología:

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	
B	Baja
M	Media
A	Alta
SEVERIDAD DEL IMPACTO	
LD	Ligeramente Dañino
D	Dañino
ED	Extremadamente Dañino
VALORACIÓN DEL RIESGO	
T	Riesgo Trivial
TO	Riesgo Tolerable
M	Riesgo Moderado
I	Riesgo Importante
IN	Riesgo Intolerable

Fuente: Elaboración propia



Los resultados de la evaluación de riesgos permiten identificar las causas y efectos de los riesgos en función de su magnitud. La matriz de riesgos indica la presencia de riesgos en todas las etapas del proyecto, también indica las medidas que se deben aplicar para reducir estos riesgos y convertir al proyecto viable en cada una de sus fases.

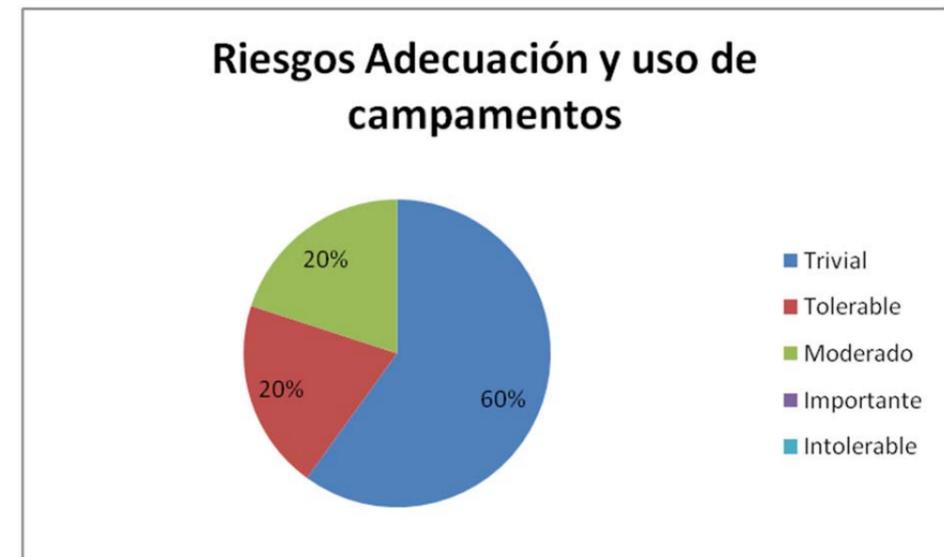
Los riesgos que requieren de mayor atención son los generados por el manejo de equipos y por la generación de polvo, para estos casos en especial se deben implementar medidas que reduzcan y/o anulen estos riesgos, en el Plan de Manejo del Metro de Quito se especifican las medidas de seguridad industrial, salud ocupacional y contingencias.

A continuación se pueden observar figuras que grafican la valoración de cada riesgo identificado:

**Figura 9.5: Riesgo Preparación de escombreras**



**Figura 9.6: Riesgo Adecuación y uso de campamentos**



**Figura 9.7: Riesgo Abastecimiento Agua, Energía y Servicios**





Figura 9.8: Riesgo Transporte y almacenaje de materiales

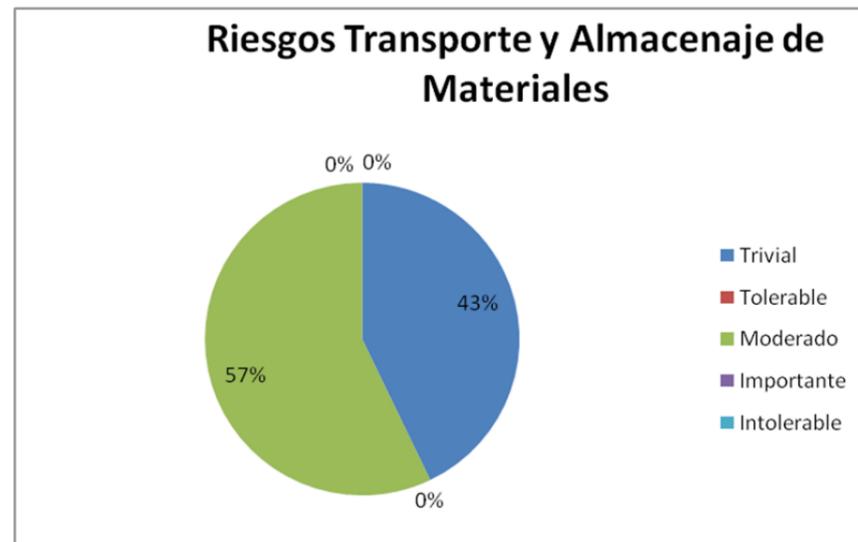


Figura 9.10: Riesgo Obras civiles

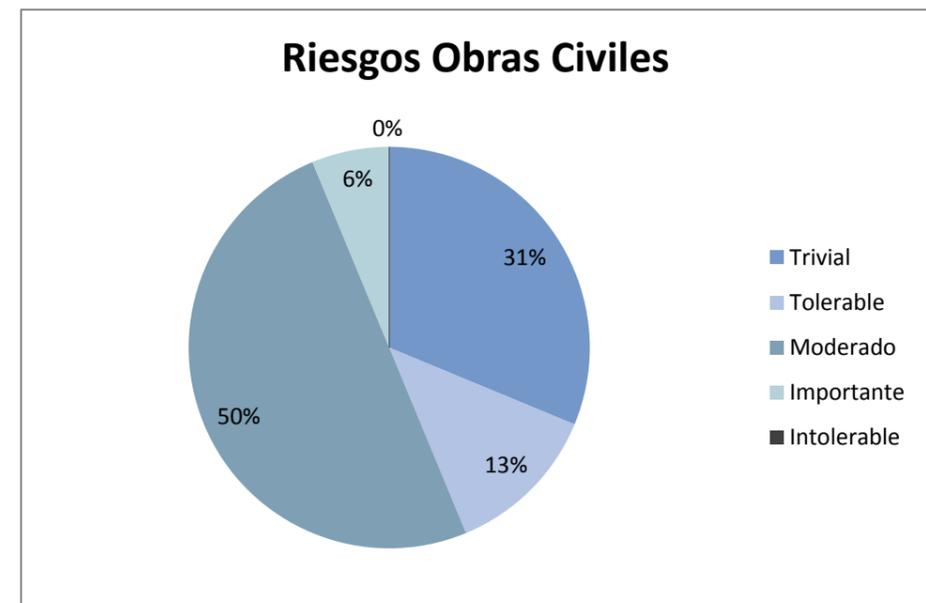


Figura 9.9: Riesgo Movimiento de tierra



Figura 9.11: Riesgo retiro, transporte y disposición de escombros

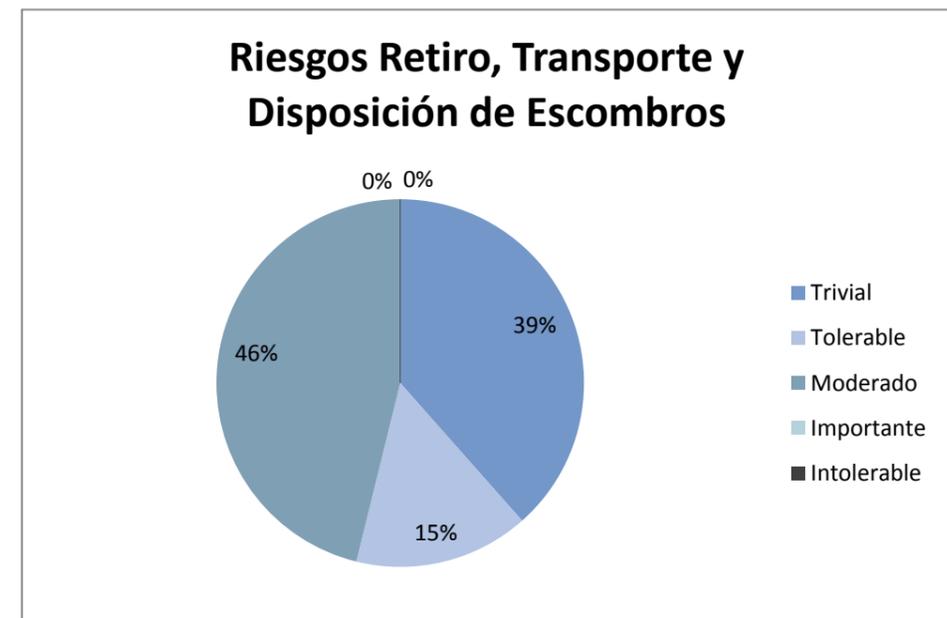


Figura 9.12: Riesgo equipamiento

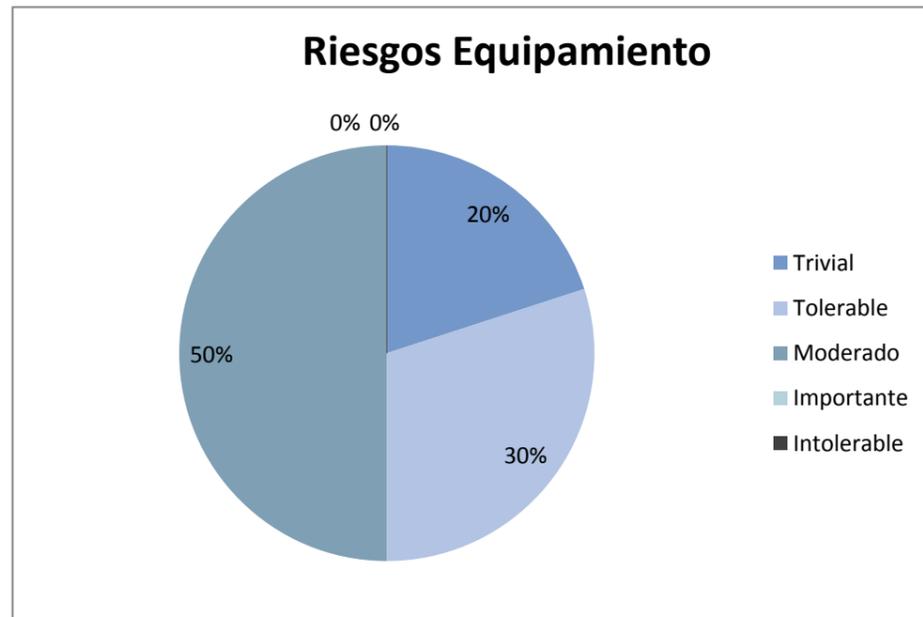


Figura 9.14: Riesgos conservación y mantenimiento

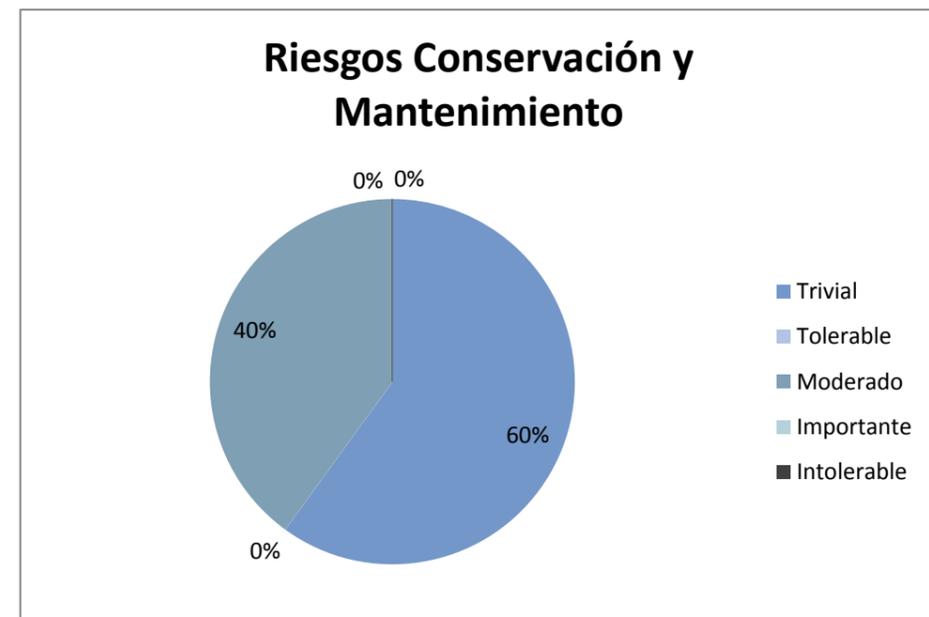


Figura 9.13: Riesgo puesta en funcionamiento

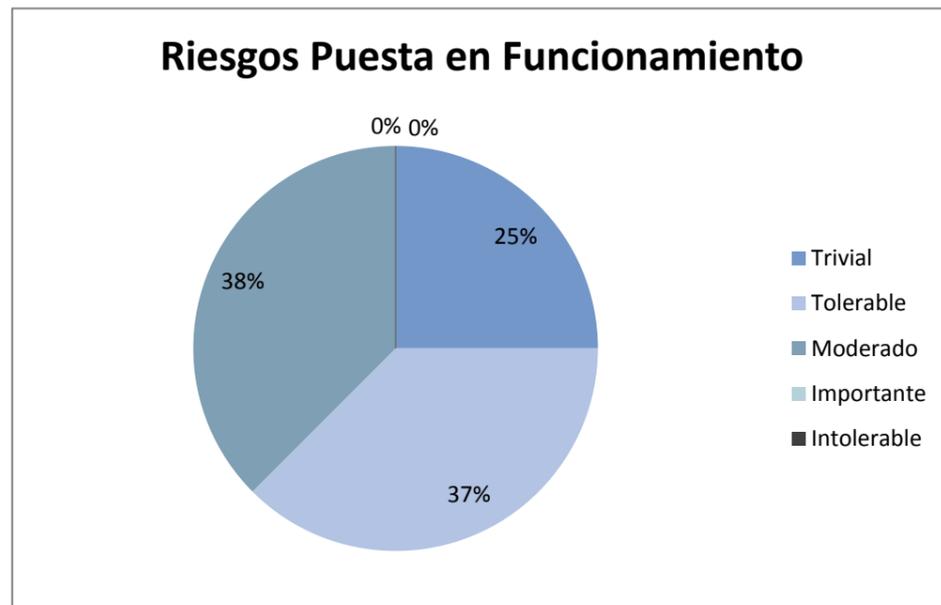


Figura 9.15: Riesgos conservación y mantenimiento





Figura 9.16: Riesgos Abastecimiento

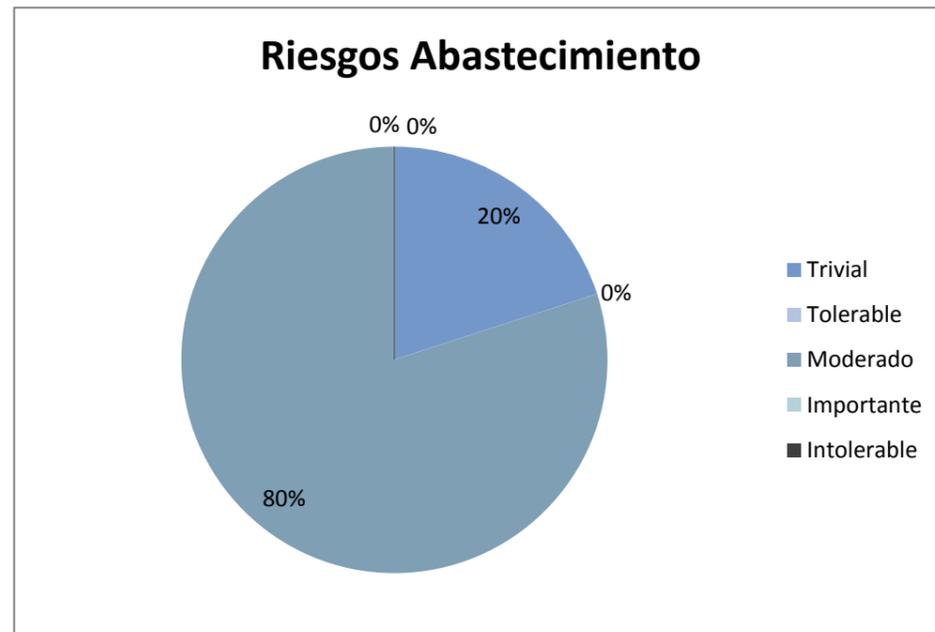


Figura 9.18: Riesgos Retiro de equipo e instalaciones

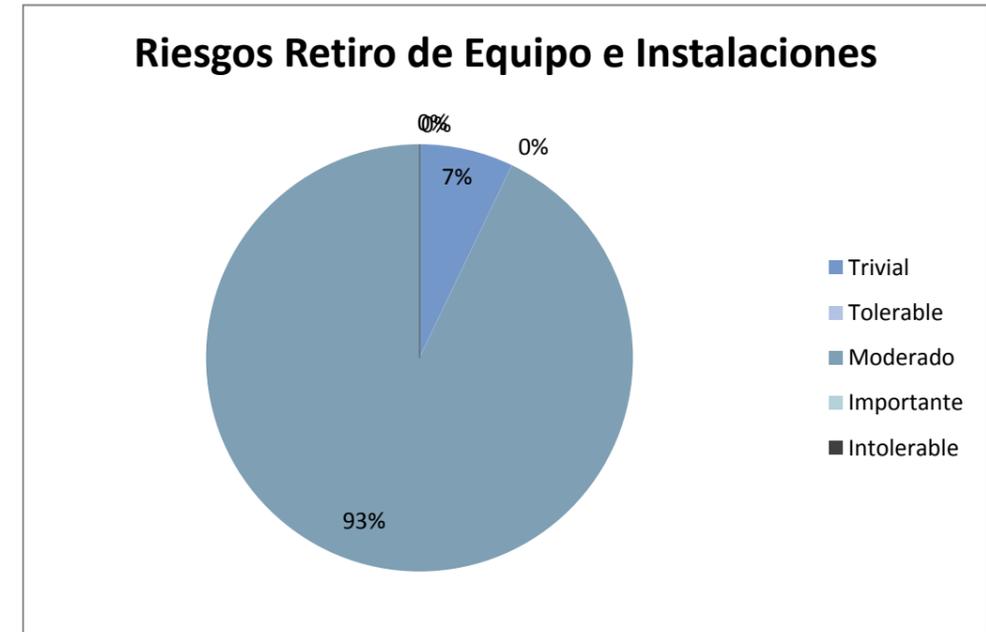


Figura 9.17: Riesgos Generación de desechos

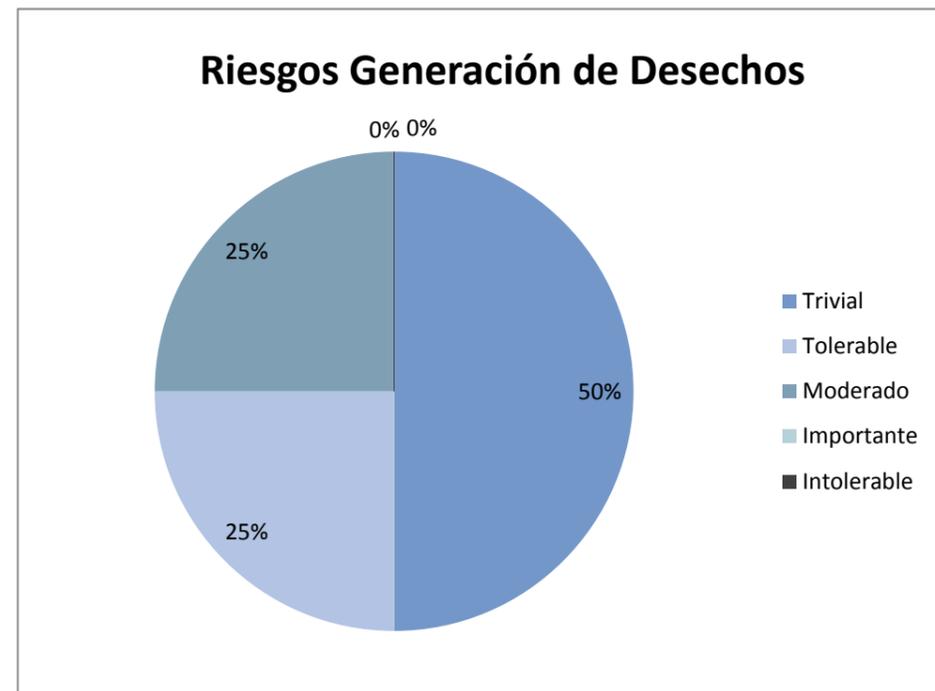
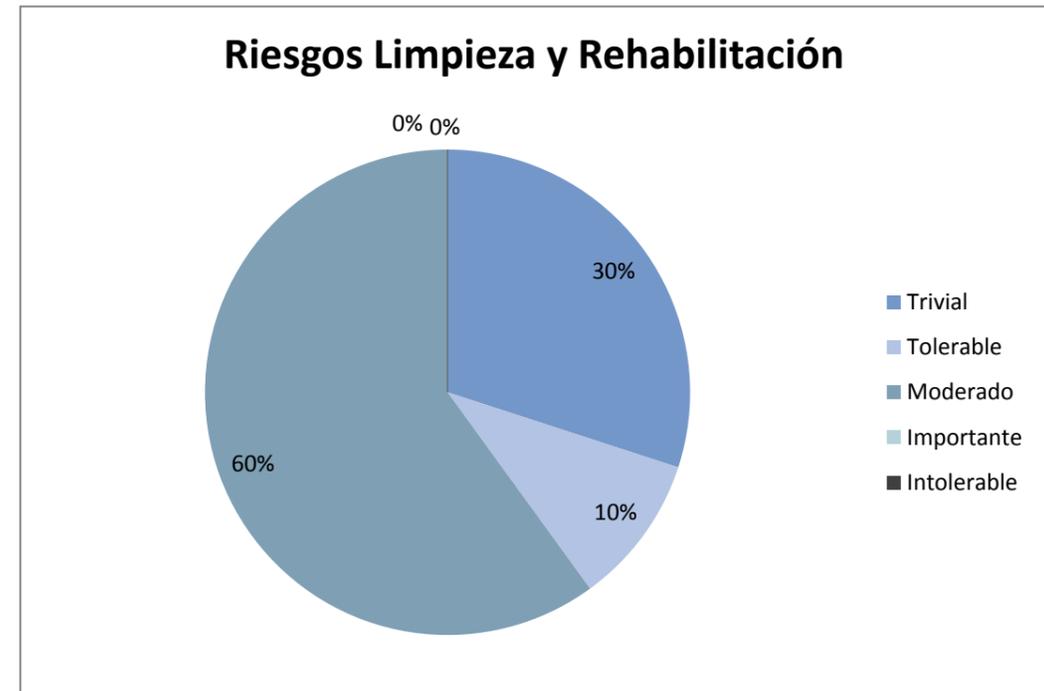
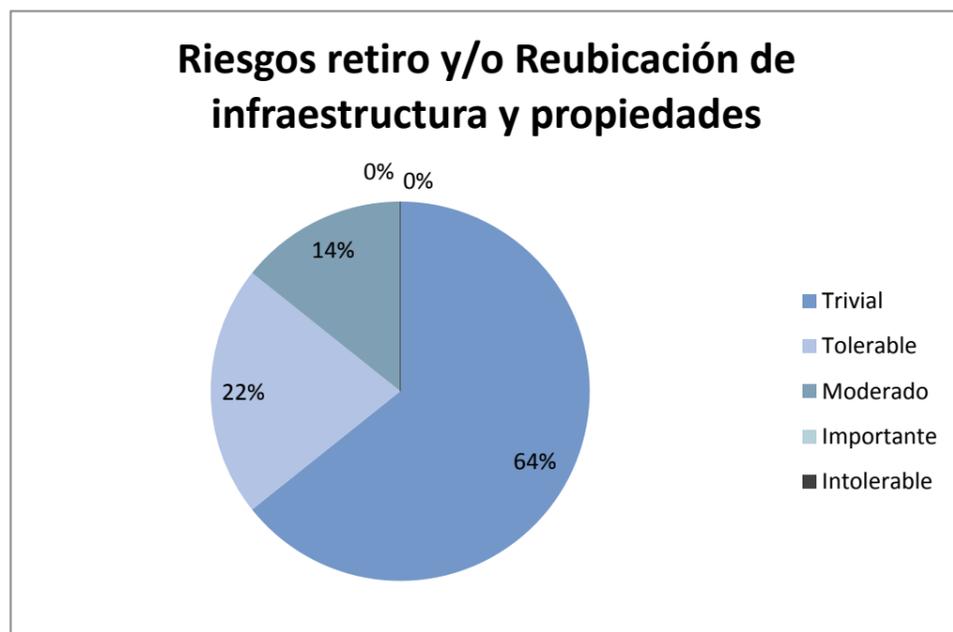


Figura 9.19: Riesgos Limpieza y rehabilitación

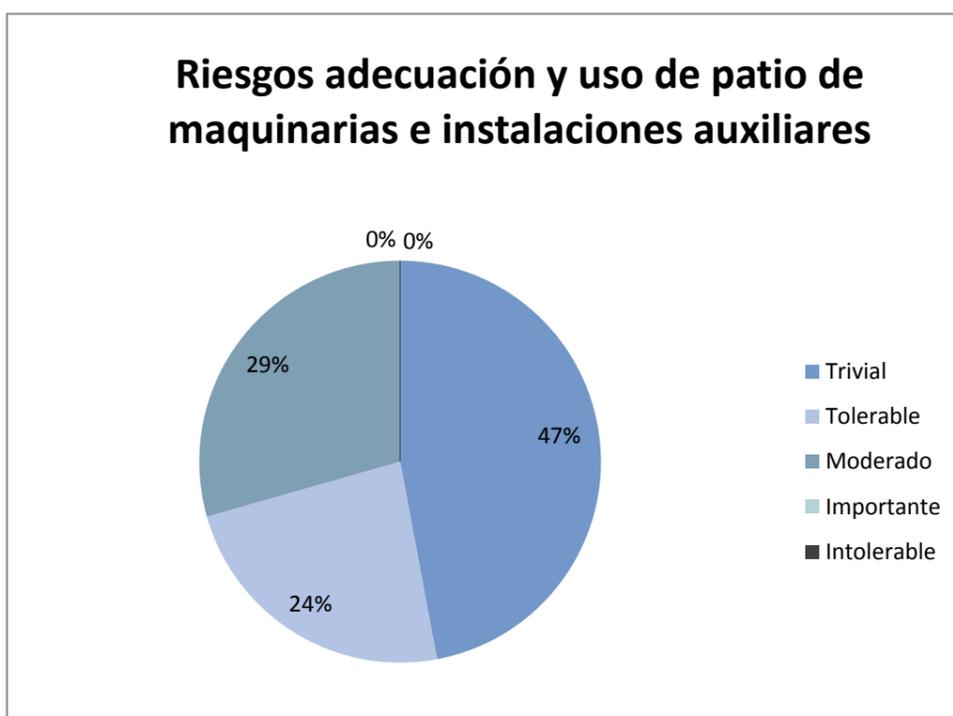




**Figura 9.20: Riesgos retiro y/o Reubicación de infraestructura y propiedades**



**Figura 9.21: Riesgos Adecuación y uso de patio de maquinarias e instalaciones auxiliares**



**9.5.4 Análisis de la matriz de riesgos**

De todos los tipos de riesgos que pueden ocurrir como parte del desarrollo de las actividades en construcción y operación de la Primera Línea del Metro de Quito se tiene que:

- El 50% son del tipo Riesgo Trivial, eso quiere decir que no se requiere ninguna acción específica.
- El 32,14% es del tipo Riesgo Moderado, lo que implica que se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo.
- El 17,86% de los riesgos que se pueden producir son del tipo Riesgo Tolerable, es decir que no se requiere mejorar la acción preventiva, pero se deben considerar mejoras que no supongan una carga económica importante.
- Ninguna de las actividades llegaría a causar afectaciones en las que como medida de precaución se paralicen las actividades en el proyecto.

Del análisis hecho a la matriz de riesgos se puede observar que ninguna de las actividades va a causar impactos extremadamente severos; sin embargo, siempre hay la probabilidad de que por el desarrollo mismo de las actividades que se realizan y a pesar de las precauciones y cuidados que se tomen como parte de la seguridad industrial, accidentes fortuitos pueden ocurrir en cualquier momento, causando afectaciones irreversibles a la salud del personal que allí labora, provocando inclusive la muerte, dependiendo del tipo de riesgo y afectación que ocurra.

Lo importante para minimizar los riesgos potenciales que pueden estar y de hecho están presentes en todas las actividades, es cumplir con las normas de seguridad detalladas en los planes de manejo, entrenar y capacitar permanentemente al personal que labora en el proyecto en materia de salud y seguridad y tener el equipo de seguridad suficiente para enfrentar cualquier riesgo o contingencia.

Para complementar y asegurar el cumplimiento de los planes de manejo, el proyecto estará monitoreado por la Autoridad Ambiental competente quien está en posibilidad de realizar una Auditoría Externa. Adicionalmente, el proyecto contará con un Departamento Ambiental y de Seguridad Industrial quien, además de tener la potestad de realizar Auditorías Internas, deberá establecer normas de seguridad de la empresa y el cumplimiento de estándares internacionales tales como ISO 14001, entre otras. Deberá elaborar también el Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores, el mismo que debe ser aprobado en el Ministerio de Relaciones Laborales.