

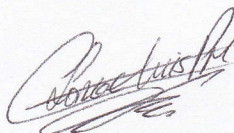
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

DECLARACIÓN y AUTORIZACIÓN

Yo, PROAÑO MORALES JORGE LUIS, C.I. 171787796-1 autor del trabajo de graduación intitulado: “ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE PAPALLACTA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO”, previa a la obtención del grado académico de INGENIERO EN CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y DESARROLLO SUSTENTABLE CON MENCIÓN EN ORDENAMIENTO TERRITORIAL en la Facultad de Ciencias Humanas:

- 1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
- 2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Quito, 15 de noviembre de 2011



Jorge Luis Proaño Morales
C.I. 171787796-1

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS

ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y DESARROLLO SUSTENTABLE
CON MENCIÓN EN ORDENAMIENTO TERRITORIAL

TÍTULO

*Análisis de Vulnerabilidad del sistema de captación y conducción de agua potable
Papallacta del Distrito Metropolitano de Quito*

Jorge Luis Proaño Morales

DIRECTOR: Galo Manrique

Quito, 2011

Dedicatoria

A la memoria de mis abuelitos maternos, a mis padres Milton y Teresita, a mi hermana Soledad y, a mi novia Daniela; quienes me han mostrado su apoyo a lo largo de mi carrera universitaria.

Agradecimientos

Agradecido con Dios quién es el motor y la fuerza de mi vida permitiéndome lograr la culminación de éste trabajo y consecuentemente de mi estudios universitarios.

De manera especial a mi mamá que me ha demostrado su incondicionalidad para mi formación profesional, a mi padre y hermana que aunque no estuvieron presentes me acompañaron y apoyaron a lo largo de mi carrera.

La disertación fue realizada con la colaboración de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento - Quito (EPMAPS-Q) a través de los funcionarios de los departamentos de Gestión Ambiental y Responsabilidad Social especialmente a la Ing. Gabriela Rodríguez. A todo el personal del departamento de Servicios Especiales por su apoyo en las salidas de campo.

TABLA DE CONTENIDOS

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	4
OBJETIVOS.....	7
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	8
1.1. Antecedentes.....	8
1.2. Marco Teórico.....	9
1.2.1. Amenaza.....	9
1.2.2. Vulnerabilidad.....	9
1.2.3. Análisis del riesgo.....	10
1.3. Marco Conceptual.....	11
1.4. Hipótesis.....	13
1.5. Metodología.....	13
CAPÍTULO 2. ÁREA DE ESTUDIO, DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y DE SUS ELEMENTOS IMPORTANTES COMO SUBSISTEMAS.....	16
2.1. Área de estudio.....	16
2.2. Sistema de captación y conducción Papallacta.....	18
2.2.1. Sistema por bombeo.....	20
2.2.2. Sistema por gravedad.....	21
2.2.3. Línea de Conducción.....	23
2.3. Elementos Importantes del Sistema.....	24
2.4. Captaciones.....	24
2.4.1. Captaciones del sistema bombeo - Subsistema I.....	26
2.4.2. Captaciones por gravedad - Subsistema II.....	29
2.4.3. Captaciones Sucus - San Juan - Subsistema III.....	33
2.5. Conducción.....	35
2.5.1. Conducción por bombeo - Subsistema I.....	36
2.5.2. Conducción por gravedad - Subsistema II.....	36
2.5.3. Conducción Sucus - San Juan - Subsistema III.....	37
2.5.4. Conducción Túnel Quito - Bellavista - Subsistema IV.....	38
2.6. Estaciones.....	48
2.6.1. Estación de bombeo.....	48
2.6.2. Central Hidroeléctrica Recuperadora - Energía.....	50
CAPÍTULO 3. ESTUDIO ANALÍTICO DE VULNERABILIDAD DE LOS SUBSISTEMAS.....	52
3.1. Análisis espacial de los subsistemas vulnerables.....	52
3.1.1. Vulnerabilidad intrínseca de los subsistemas, conjunto de elementos....	54
3.1.2.1. Amenazas sísmicas.....	61
3.1.2.2. Amenazas volcánicas.....	66

3.1.2.3.	Amenazas por remoción en masa.....	69
3.1.2.4.	Amenazas de origen antrópico	73
3.1.3.	Subsistemas por la dependencia a elementos externos.....	75
3.1.4.	Capacidad de control a los elementos de los subsistemas.....	77
3.1.5.	Alternativas de funcionamiento.....	81
3.1.6.	Análisis del manejo de la crisis del Sistema de captación y conducción Papallacta.....	82
3.2.	Vulnerabilidad	84
3.2.1.	Vulnerabilidad de los Subsistemas.....	86
3.2.2.	Vulnerabilidad Total.....	89
CONCLUSIONES GENERALES		92
RECOMENDACIONES		93
BIBLIOGRAFÍA.....		94
ANEXOS.....		97
Anexo 1. Resumen fotográfico, fotos capturadas por el autor entre Agosto y Septiembre del 2011.		97
Anexo 2. Mapas de ubicación y exposición a amenazas del Sistema de captación y conducción Papallacta.....		100

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación del Sistema Papallacta en el territorio Ecuatoriano.....	16
Figura 2.	Ubicación del sistema de captación y conducción Papallacta en el contexto cantonal	17
Figura 3.	Funcionamiento a gravedad y bombeo del sistema Papallacta.....	19
Figura 4.	Sistema por bombeo Papallacta	20
Figura 5.	Optimización Papallacta, sistema por gravedad	22
Figura 6.	Línea de conducción del sistema Papallacta.....	23
Figura 7.	Elementos importantes de los subsistemas de las captaciones	25
Figura 8.	Elementos importantes de los subsistemas de la conducción	35
Figura 9.	Ubicación de las estaciones de bombeo y energía.....	48
Figura 10.	Diagrama del Sistema de captación y conducción Papallacta	51
Figura 11.	Amenazas naturales, rango aproximado de frecuencias y áreas de impacto.....	60
Figura 12.	Zonificación del riesgo sísmico en el Ecuador	63
Figura 13.	Nivel de amenaza sísmica a nivel cantonal en el Ecuador	64
Figura 14.	Sismicidad histórica desde 1990 hasta enero del 2011 con magnitudes escala de Richter.....	65
Figura 15.	Exposición del sistema ante amenazas volcánicas potenciales.....	69
Figura 16.	Exposición del sistema ante amenazas a movimientos en masa.....	71
Figura 17.	Diagrama general del sistema de bombeo Papallacta.....	79
Figura 18.	Diagrama general del sistema Optimización Papallacta a gravedad (SCADA)	80
Figura 19.	Resultado de la Vulnerabilidad total del Sistema de captación y conducción Papallacta de agua potable del DMQ	91

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Tabla de elementos importantes y subsistemas del Sistema de captación y conducción Papallacta	24
Cuadro 2. Características de la conducción a gravedad según las captaciones.....	37
Cuadro 3. Matriz para el análisis de vulnerabilidad por subsistemas del Sistema de captación y conducción Papallacta	53
Cuadro 4. Vulnerabilidad intrínseca según caudales de los subsistemas de captación ..	55
Cuadro 5. Años de funcionamiento de los subsistemas	55
Cuadro 6. Tabla de frecuencias de mantenimiento de los subsistemas.....	57
Cuadro 7. Tabla de los materiales constituidos de los subsistemas	58
Cuadro 8. Factores de daño según intensidad sísmica	66
Cuadro 9. Exposición de los elementos de los subsistemas frente amenazas volcánicas.	68
Cuadro 10. Significado de la simbología del mapa de amenazas por	71
Cuadro 11. Representación de la exposición de los subsistemas a amenazas por movimientos en masa.	73
Cuadro 12. Dependencia de energía eléctrica por parte de los subsistemas	76
Cuadro 13. Alternativas de funcionamiento para cada subsistema.....	82
Cuadro 14. Tabla Matriz de vulnerabilidad según capacidades y debilidades de los subsistemas	85
Cuadro 15. Vulnerabilidad total de los subsistemas	90

LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Captación del río Tuminguina y Conjancos	27
Fotografía 2. Agua embalsada de la represa Salve Faccha	29
Fotografía 3. Dique Sucus y parte de su agua embalsada	34
Fotografía 4. Paso elevado quebrada Carihuaycu aguas arriba.....	39
Fotografía 5. Paso elevado quebrada Carihuaycu aguas abajo	40
Fotografía 6. Paso elevado quebrada Huarmiihuaycu.....	41
Fotografía 7. Paso elevado quebrada Corazón aguas arriba.....	41
Fotografía 8. Paso elevado quebrada Corazón aguas abajo	42
Fotografía 9. Válvula de desfogue, río Chiche	43
Fotografía 10. Paso elevado quebrada del Payaso	43
Fotografía 11. Cámara de la válvula de desfogue abscisa 40+900	44
Fotografía 12. Paso elevado quebrada Pillagua	45
Fotografía 13. Cámara de la válvula de desfogue y paso elevado abscisa 43+500	46
Fotografía 14. Paso elevado quebrada Uraloma.....	47
Fotografía 15. Paso elevado quebradilla	47

RESUMEN

El abastecimiento de agua potable para las sociedades es sinónimo de desarrollo, de salubridad, de alguna manera aumenta la calidad de vida. Por ello es necesario buscar las maneras de dar continuidad al servicio, no solo por ser un servicio básico, sino aun más por ser vital en situaciones de crisis y emergencias que pueda padecer una ciudad.

La presente disertación se enfoca en el análisis de distintas vulnerabilidades de los sistemas de captación y conducción Papallacta para el Distrito Metropolitano de Quito, considerando la metodología propuesta de Robert D'ercole y Metzger, en la que a través del conjunto de elementos importantes, la exposición de éstos y la funcionalidad por medio de las debilidades y capacidades de los subsistemas a fin de establecer medidas que permitan la reducción de la vulnerabilidad.

Palabras Claves: Análisis de vulnerabilidad, Vulnerabilidad intrínseca, Amenazas y Elementos Importantes.

ABSTRACT

The provision of drinking water for societies is synonymous of development, salutariness and somehow it increases life quality. That is why is mandatory to search different options of giving continuity to the service, not only because it is a basic service but also because it is vital in crisis or emergencies that may happen in a community.

This research centers its study on the analysis of different vulnerabilities of the Papallacta's uptaking and driving systems for Quito DM, considering Robert D'Ercole and Metzger's methodology through a group of important elements, the exposure and the functionality of the subsystem's weaknesses and capabilities to set actions that allow the decrease on the vulnerability.

Key words: Vulnerability analysis, Intrinsic Vulnerability, Threat and important elements.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El desarrollo de vida de la población de Quito se halla conectado con los servicios que el gobierno municipal proporciona a la colectividad, entre los cuales consta el abastecimiento de agua potable, es por ello que un estudio anterior abordó todo el sistema de abastecimiento de agua enfocado a sus elementos esenciales.¹ Sin embargo ésta investigación orienta a realizar de manera más específica, estudios en los sistemas más importantes y más vulnerables, siendo éstos los sistemas de captación y conducción, debido al limitante de alternativas de funcionamiento y gran alcance de paralización que se tendría si uno de estos llegará a fallar. Cabe destacar que mientras más cerca del consumidor se encuentra el agua, más interconectado está el sistema y, por tanto, menos vulnerable es el abastecimiento debido a la gran variedad de alternativas existentes.²

Si bien es cierto la línea de captación y conducción no se encuentran dentro de la ciudad de Quito; el agua es captada de los ríos Papallacta, Tuminguina, Blanco Chico, Sucus, San Juan, Chalpi, etc. que por medio de este sistema, son abastecidos del servicio de agua los barrios nororientales del área urbana, además de algunos poblados en áreas rurales como Yaruquí, Pifo, Cumbaya, Tumbaco, Checa, Tababela y El Quinche. Es decir, si existe algún peligro fuera de la capital y que afecte al sistema de captación en la zona de Papallacta, el malestar y repercusión por la paralización del servicio estaría dirigido a los habitantes capitalinos que residen en las áreas de cobertura del sistema especialmente de la Planta Bellavista que es la planta alimentada de agua cruda por el Sistema Papallacta.

Para entender la forma del análisis de riesgos realizado en el estudio mencionado anteriormente, primeramente se identificaron los elementos según su funcionalidad en cada uno de los sistemas que están constituidos por captación, conducción, tratamiento y distribución.³ Mientras que en la presente investigación se tomarán en cuenta los elementos de la captación y conducción del Sistema Papallacta, además se determinará

¹ El sistema de agua potable del DMQ y sus escenarios de riesgo volcánico, desarrollado por Estacio en el 2003. Jerarquizo los elementos esenciales por medio de la capacidad de cada sistema, tomando en cuenta captaciones, plantas, tanques y líneas de distribución; determinando varios tipos de vulnerabilidad y así colocarlos en escenarios de riesgos de origen volcánico de los volcanes Guagua Pichincha, Reventador y Cotopaxi. Finalmente analizando la gestión de riesgo utilizada para reducir la vulnerabilidad.

² D'Ercole y Metzger (2002), La Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito, pág. 153

³ D'Ercole y Metzger 2002

la capacidad de control ante algún posible fallo sobre sus elementos, enfocando las alternativas de funcionamiento y se realizará un análisis del nivel de preparación que se deberá generar para el manejo de crisis.

Siendo el Sistema Papallacta el más grande aportador de agua cruda a través de su conducción a la planta Bellavista, la cual distribuye al 41% entre poblados rurales y barrios de Quito, es útil y necesario conocer: ¿Cuáles serían los fenómenos que podrían ocasionar daños en el sistema?, ¿Qué sucedería si el sistema tiene grandes fallos? ¿Qué repercusiones traería a la población el desabastecimiento de agua debido a fallos de la línea de captación y conducción Papallacta? y finalmente ¿Cuáles alternativas se podría emplear en caso de emergencias?

Es imprescindible enmarcar el estudio, a conocer la vulnerabilidad apreciada desde la infraestructura de captación y conducción de agua desde todas sus dimensiones para de esta forma buscar la disminución de la vulnerabilidad ante amenazas o peligros potenciales en eventos futuros que pudiesen afectar el desarrollo normal del proceso abducido del sistema. Esta investigación está enmarcada en la actualidad y de forma espacial sus elementos están ubicados en el Distrito Metropolitano de Quito y en los cantones de El Chaco y Quijos.

JUSTIFICACIÓN

El agua y particularmente el agua potable contribuye al incremento del desarrollo de la población, por su indispensabilidad como recurso vital es también un instrumento de salud y del desarrollo humano sostenible. El agua potable es un elemento básico para el cumplimiento de los derechos humanos y de la dignidad personal, además que el acceso a este servicio es parte de los objetivos de desarrollo del milenio (ODM), es por esto que según la Organización Mundial de la Salud (OMS) disponer de agua potable es el éxito de la lucha contra la pobreza, el hambre, la mortalidad infantil y la desigualdad de género.⁴

El acceso al agua potable es tan importante como ofrecer el servicio de forma sostenible y en la capacidad de mantener su abastecimiento de calidad a las poblaciones en situaciones emergentes de desastres, sobre todo y en este caso en poblaciones grandes como es el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Por este motivo la reducción de la vulnerabilidad debe ser parte integral del desarrollo sostenible.

El abastecimiento de agua potable es fundamental para el desarrollo de los habitantes del DMQ, la cobertura del servicio en el 2011 según la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS-Q) es del 98,31% entre parroquias urbanas y rurales. Captando, potabilizando y distribuyendo el agua a la población, se muestra la importancia de analizar lo más vulnerable como prevención ante eventos desastrosos. En el caso de la ciudad el sistema de captación y conducción Papallacta es clave para la captación de agua cruda ya que proporciona gran cantidad de ésta con un caudal de 3000 l/s. a la Planta Bellavista, que dispone de una cobertura del 41% en el Distrito.

Dada la importancia del abastecimiento de agua de calidad para la población del DMQ en situaciones que tuviese su territorio de enfrentar ante un peligro, consecuentemente el cual pudiese repercutir en la alimentación y salubridad de los habitantes de la ciudad capital del Ecuador; se propone realizar con el estudio de vulnerabilidad para el sistema de captación y conducción Papallacta siendo éste el más grande y con mayor caudal de abastecimiento.

⁴ Alcanzar los ODM en materia de agua potable y saneamiento: Evaluación a mitad de periodo de los progresos realizados. OMS y UNICEF, 2004.

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS-Q) es la encargada de proveer servicios de agua potable y alcantarillado para las zonas urbanas y rurales del Distrito Metropolitano de Quito, tiene como tarea adicional el desarrollo de estudios de escenarios de riesgos ante la posibilidad de amenazas de tipo natural o antrópico que puedan afectar al abastecimiento normal de agua potable de los habitantes, así como es de su interés la sostenibilidad del recurso y el mantenimiento de su infraestructura.

El sistema original de Papallacta para los años de 1998 tenía un caudal de $3 \text{ m}^3/\text{s}$ mediante procesos de bombeo de agua, desde entonces se puso en construcción el proyecto de optimización del Sistema Papallacta por gravedad, el cuál en la actualidad proporciona un constantemente un caudal adicional de $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$ y su propósito es seguir aumentándolo.

Por la capacidad de manejo de agua que tiene Papallacta ha hecho que su línea de captación sea la más importante debido a su caudal incrementado, llevando el agua cruda a la Planta Bellavista que después de procesos de tratamiento proporciona el servicio a la zona nororiental de Quito.

Estudios anteriormente realizados han categorizado al sistema Papallacta como uno de los de mayor importancia, por esto he considerado profundizar el estudio de este sistema en el desarrollo de la presente investigación. En vista de que se lo ha caracterizado en un escenario de erupción del volcán Cotopaxi en función de su vulnerabilidad intrínseca y de su exposición a amenazas, mostrando un riesgo medianamente alto (ESTACIO, 2003), es por esto que se va a realizar un estudio de vulnerabilidad, tomando en cuenta todas las amenazas a las que podría estar expuesto, la debilidad de sus componentes, la dependencia hacia otros sistemas y sus capacidades como alternativas de funcionamientos, capacidad de control y preparación, con los cuales se podría reducir su vulnerabilidad mediante la adopción de medidas de prevención y mitigación. De tal forma que se determinen amenazas potenciales y sensibilidad de espacios que puedan afectar los elementos volviéndolos más vulnerables.

Es por ello que esta disertación busca evaluar la vulnerabilidad física de manera individual por los elementos y funcional mediante el análisis espacial de tal forma que se determine la vulnerabilidad sobre la importancia del funcionamiento que tiene la línea de captación y conducción del sistema, logrando así identificar debilidades para tomar medidas de reducción de vulnerabilidad. La escala de trabajo será de 1:50.000, siendo homologado y tomando en cuenta información a otras escalas, ya sean menores o mayores, cuando amerite el caso. Finalmente esta investigación será un estudio piloto al sistema más grande de captación de agua para el DMQ, tomando en cuenta las particularidades y elementos más representativos del Sistema Papallacta.

OBJETIVOS

General:

- Determinar la vulnerabilidad de la captación y conducción del Sistema Papallacta mediante el estudio de sus elementos en el espacio entendidos como capacidades y debilidades, con la finalidad de establecer medidas de prevención y mitigación del riesgo.

Específicos:

- Describir los elementos importantes según su funcionamiento que actúan en la línea de captación y conducción del sistema.
- Establecer criterios espaciales para la determinación de espacios frágiles sobre los cuales se encuentran los elementos importantes.
- Determinar amenazas naturales y antrópicas que puedan afectar parcial o globalmente a las instalaciones y al servicio que es provisto por la captación y conducción.
- Determinar la capacidad de control por medio de la accesibilidad hacia los elementos importantes.
- Establecer el nivel de preparación de personal en el manejo de crisis y de las alternativas de funcionamiento.
- Recomendar acciones para la reducción de la vulnerabilidad.

CAPÍTULO 1.

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

La vulnerabilidad es parte de la gestión del riesgo y dentro de ésta lo relevante es el trabajo por reducir el riesgo además del manejo de desastres, es por ello que a nivel internacional, varios marcos institucionales tratan y promulgan la reducción del riesgo de desastres.⁵ En la Constitución del Ecuador del 2008 en el Art. 261 menciona que es competencia exclusiva del Estado central el manejo de desastres naturales. El Art. 389 y 390 específicamente trata sobre la gestión del riesgo es por ello que se incorpora la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos dentro del Ministerio Coordinador de Seguridad Interna y Externa elevando la gestión de riesgos a una política de Estado.

Dentro del ámbito local del DMQ, la Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad es la encargada de la gestión integral de los riesgos, así como de articular entre los entes encargados (Cuerpo de Bomberos, Policía Metropolitana, EMSEGURIDAD-Q y Centros Metropolitanos de Equidad y Justicia) para la seguridad del Distrito en situaciones de desastres. La Unidad de Gestión y Riesgos inmersa en la Secretaria tiene entre sus funciones la coordinación interinstitucional de control y monitoreo, en este caso con la EPMAPS-Q como institución que debe proveer de servicio de agua a la población aun en condiciones catastróficas.

De entre los estudios realizados por la EPMAPS-Q, cabe destacar dentro del margen espacial aquél que considera el territorio poniéndolo a este en escenarios de riesgos, tomando en cuenta las amenazas naturales que afecten espacios, poblaciones, elementos esenciales de una ciudad.

⁵ Marco de Acción de Hyogo para 2005 – 2015, en la Conferencia Mundial sobre la reducción de los desastres, realizada en enero del 2005 en Japón. En este documento se mencionan los objetivos y prioridades de acción para la reducción de desastres, así como en su anexo se especifican los marcos y declaraciones internacionales como: Programa de Acción para el desarrollo sostenible, Plan de aplicación de decisiones de la Cumbre Mundial sobre el desarrollo sostenible, etc.

1.2. Marco Teórico

De entre los campos del saber, a la Geografía le corresponde el estudio del desarrollo de las sociedades en su espacio llamándolo paisaje, ambiente, territorio, etc. Siendo el análisis espacial el encargado de buscar patrones geográficos en datos y las relaciones que hay entre los elementos, para entender que hay en un área específica. Pues de entre éste se desprenden los análisis de vulnerabilidad y los análisis de riesgos.

1.2.1. Amenaza

Cuando se entiende que es importante conocer los escenarios de amenazas que pueden tener los territorios, los espacios, los elementos importantes; es imprescindible realizar estudios que se sujeten a tratar el cuidado y desarrollo normal de éstos en situaciones de crisis por fenómenos destructores. Por ello, después del estudio de “El sistema de agua potable del DMQ y sus escenarios de riesgo volcánico” anteriormente mencionada, en el que se estudia generalmente al sistema proponiendo estudios detallados de vulnerabilidad para entender el alcance espacial para mejorar los criterios de prevención y mitigación en el abastecimiento normal y de calidad del agua potable para Quito. Se ha decidido continuar con el trabajo utilizando la misma metodología para el estudio del mayor sistema de captación “Papallacta” del sistema de agua potable.

1.2.2. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es el resultado de un proceso analítico estudiado en un espacio, definiéndola como un conjunto de puntos débiles que pueda experimentar consecuencias más o menos graves con la ocurrencia de un fenómeno destructor. También es el grado de pérdida de (0 a 100%) como resultado de un fenómeno potencialmente dañino. (UNDRO, 1991).

Se denomina también vulnerabilidad a las características de una persona, grupo o estructura en términos de su capacidad para anticipar, soportar, resistir y recobrase de los impactos de una amenaza. Expresándose como grado de pérdida de un elemento o conjunto de elementos bajo riesgo como resultado de la ocurrencia de un fenómeno, de

una magnitud dada y expresada en una escala de 0 (ningún daño) a 1 (pérdida total), o como el porcentaje de pérdida esperado (UNDRO, 1991).

1.2.3. Análisis del riesgo

El riesgo es una condición que se deriva de la acción de una o varias amenazas de origen natural o antrópico en un contexto dado y que además involucra la toma de decisiones. En una condición del riesgo las consecuencias de la acción de una amenaza están mediadas por la toma de una decisión, es decir, por el ejercicio del poder político.

El riesgo es una condición social que se construye comunicativamente, por cuanto los afectados toman y transmiten sus decisiones con bases en mensajes verbales o no verbales. (MUÑOZ, 1999). De la misma forma es una probabilidad de que durante un tiempo de recurrencia específico la manifestación de un fenómeno exceda en determinado sitio, una intensidad de referencia que genere un cierto nivel de daño específico. Finalmente la gestión del riesgo busca soluciones viables y de respuesta rápida a situaciones emergentes, logrando así la reducción de la vulnerabilidad y lógicamente del riesgo.

El análisis de riesgos sigue un proceso que es encaminado primeramente a la definición del espacio geográfico, para después identificar los fenómenos, realiza un análisis probabilístico de ocurrencia de la magnitud del fenómeno, analiza los daños al elemento o elementos, y finalmente sintetiza y calcula el riesgo para asumir el nivel de riesgo.

La propuesta teórica está encaminada en el análisis de riesgos. Mediante el cual se pretende disminuir el riesgo, en vista que la amenaza por sí sola no se la puede reducir, tan solo se lo logra a su impacto, mientras que disminuyendo la vulnerabilidad que si está en capacidad de ser hasta eliminada por el hombre, se puede contribuir específicamente por el análisis del riesgo a disminuir el mismo. Son elementos del riesgo la población, los edificios, instalaciones, obras de infraestructura, actividades económicas, servicios públicos y otros, expuestos a amenaza (UNDRO, 1979).

1.3. Marco Conceptual

Es necesario entender en primer lugar, las conceptualizaciones sobre el tema, para después desarrollarlo como se menciona en la metodología.

Amenaza: Se define como “fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales”.⁶ Es decir es un fenómeno potencialmente destructor y puede ser de origen natural y antrópico.

Amenaza antrópica: Actividad causada directamente o indirectamente por el ser humano y que por las circunstancias incrementa la ocurrencia de las amenazas.

Amenaza natural: Se refiere a un fenómeno natural que puede ocasionar daños a la propiedad, pérdidas económicas, trastornos sociales, daños ambientales, disminución de la salud y puede acontecer hasta la muerte.

Vulnerabilidad: “Las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza”.⁷ Este estudio se centra en la vulnerabilidad refiriéndose como el nivel de daño sea éste potencial o comprobado de un elemento expuesto ante un fenómeno y una intensidad dada.

Vulnerabilidad intrínseca: debilidades de uno o varios elementos que son capaces de ocasionar disfuncionamientos.

Análisis de vulnerabilidades: consiste en la identificación y cuantificación de las debilidades de los componentes o de los elementos de un sistema, determinando el comportamiento para resistir a los posibles efectos de un desastre. Estableciendo medidas de mitigación para respuestas ante el impacto que alguna amenaza produciría.

⁶ UNISDR. Terminología sobre la reducción del riesgo de desastres, 2009

⁷ UNISDR. Terminología sobre la reducción del riesgo de desastres, 2009

Espacios frágiles: son espacios expuestos algún tipo de amenaza o sometidos algún grado de vulnerabilidad en los cuales se encuentran los elementos de importancia.

Elementos importantes: todo lo que una sociedad, una ciudad, un grupo social puede ganar o perder, con ocasión de una acción, una estrategia, o un evento de cualquier tipo. (D'Ercole y Metzger, 2002).

Capacidad: “La combinación de todas las fortalezas, los atributos y los recursos disponibles dentro de una comunidad, sociedad u organización que pueden utilizarse para la consecución de los objetivos acordados.”⁸ Describiéndola como recursos y aptitudes para desempeñar una tarea.

Capacidad de control: Recursos y aptitudes para afrontar una situación de crisis en función de su preparación y de sus formas de intervención.

Mitigación: Conjunto de acciones para aminorar o eliminar el impacto de las amenazas naturales, mediante la reducción de la vulnerabilidad física, funcional o social del sistema.

Prevención: Medidas y acciones dispuestas con anticipación, que buscan evitar riesgos en torno a amenazas y vulnerabilidades. (SNGR, 2010).

Riesgo: Es la probabilidad de ocurrencia de un desastre y la interacción de elementos de significancia y de su desarrollo normal.

Sistema de agua potable: Conjunto de componentes de infraestructuras que mediante proceso sistematizados se capta el recurso en forma cruda, que luego es conducido hacia una planta potabilizadora, la cual se encarga de distribuir agua potable a los consumidores.

⁸ UNISDR. Terminología sobre la reducción del riesgo de desastres, 2009

Sistema de captación: Es un complejo sistema que recolecta aguas por medio de obras civiles en puntos estratégicos influenciados por la pluviosidad, que convergen un sitio dado para transportar hacia el tratamiento del recurso.

Subsistema: Es el conjunto de elementos importantes que componen características o funciones comunes para cumplir su propósito. El conjunto de los subsistemas forman un sistema.

1.4. Hipótesis

¿La determinación espacial y funcional de las vulnerabilidades en el Sistema de captación y conducción Papallacta frente a eventos futuros, disminuiría el riesgo potencial que pudiese afectar el desarrollo normal del sistema y consecuentemente a la población del DMQ?

1.5. Metodología

Cuando se habla de metodología, la Real Academia de la Lengua Española se refiere al conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica. El conjunto de métodos particulares para ésta disertación están fundamentados en el análisis de los elementos y su conjunto configurando a los subsistemas del gran sistema, para lo cual, se han dimensionado 6 fases para analizar la vulnerabilidad. Toda ésta investigación se realizará mediante recopilación de información acerca de estudios anteriores del área de estudio, salidas al campo donde se observarán los elementos importantes. Se analizará las temáticas de amenazas a los lugares donde se encuentra el sistema, generando Mapas de amenazas a través del herramienta de Sistemas de Información Geográfica (SIG), mediante el software “ArcMap” versión 9.3 propiedad de Environmental System Research Institute Inc (ESRI).

El tipo de estudio exploratorio que se realizará en esta disertación, utiliza los métodos: Análisis y síntesis como el proceso de análisis con cada elemento y sus interrelaciones de las que compone el objeto de la investigación y por medio de la síntesis se aborda la funcionalidad del conjunto tomando en cuenta el problema de la investigación.

Inductivo y deductivo el cual permite desarrollarlo por medio de la recopilación de información secundaria, induciendo ideas sobre el objeto de estudio además de deducir los posibles escenarios del mismo.

Fenomenológico, que a través de la observación directa e indirecta se llegará a advertir los hechos que se presentan en el fenómeno de estudio, percibiendo ciertos rasgos existentes en su área geográfica.

A manera general la metodología utilizada tendrá un enfoque similar a la descrita en el estudio de “La Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito” por los autores D’Ercole y Metzger (2002), que toman en cuenta las siguientes vulnerabilidades.

- Fase 1. **La vulnerabilidad intrínseca** de los elementos del sistema de captación y conducción Papallacta pretende analizar las debilidades y capacidades en cuanto al funcionamiento y las operaciones técnicas. De tal forma que solo se analice cada elemento internamente sin tomar en cuenta elementos externos que pudiesen afectar su funcionamiento.
- Fase 2. **La exposición ante amenazas naturales o antrópicas** deben ser tomadas en cuenta para cada elemento cuando éste es susceptible a sufrir un daño. Es decir las amenazas naturales como por ejemplo: deslizamientos, caída de ceniza, paso de lahares, sismos, etc. además de amenazas de origen antrópico como sabotajes o malas prácticas culturales de la población cerca de las captaciones de agua o de su misma conducción.
- Fase 3. **Las dependencias externas** de algunos elementos o subsistemas del sistema estudiado, hacia otros elementos, subsistemas o sistemas externos, que influyan para el funcionamiento normal del sistema inicial. En la medida en que mayor es la dependencia de un elemento, mayor es su vulnerabilidad. Claro

ejemplo es para el sistema Papallacta la necesidad parcial de operar a través de la demanda energética eléctrica.

- Fase 4. **La capacidad de control** está ligada a la accesibilidad permanente y remota para llegar a un elemento en situaciones emergentes, de tal forma que se controle las fallas detectadas. Puede tomarse en cuenta como accesibilidad a la tecnología con controles directos, vialidad y cercanía del personal capacitado.
- Fase 5. **Las alternativas de funcionamiento** en un sistema o en cada uno de sus subsistemas son importantes al determinar la continuidad del funcionamiento de la captación y conducción, si alguno o varios de los elementos llegara a fallar. Se debe optar por encontrar otras alternativas en casos de crisis que afecten al sistema Papallacta para poder abastecer de agua normalmente a la población con cobertura directa o indirecta del sistema.
- Fase 6. **El nivel de preparación para el manejo de crisis** debe ser previamente evaluado tomando en cuenta las anteriores vulnerabilidades. Además de tomar en cuenta la necesidad de cada elemento y de cada preparación pudiendo ser, acciones, programas, planes, etc.

CAPÍTULO 2.

ÁREA DE ESTUDIO, DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y DE SUS ELEMENTOS IMPORTANTES COMO SUBSISTEMAS

2.1. Área de estudio

El área sobre la cual se realiza ésta disertación, se encuentra ubicado en las provincias de Pichincha y Napo, aprovechando el agua de las estribaciones de la Cordillera Real.

Figura 1. Ubicación del Sistema Papallacta en el territorio Ecuatoriano

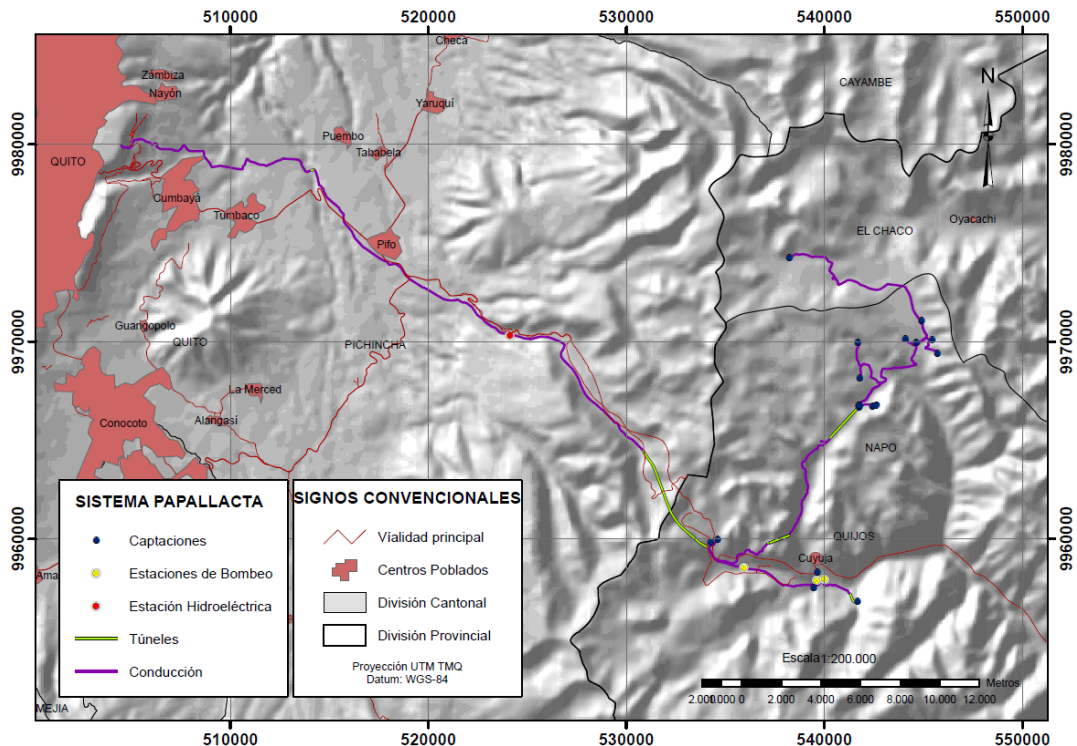


Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales

El agua captada para el Distrito Metropolitano de Quito es tomada desde la cuenca hidrográfrica del río Napo, de los cantones el Chaco y Quijo de la provincia del Napo, donde la mayor parte de sus captaciones se encuentra en un área protegida en la Reserva Ecológica Cayambe - Coca (RECA Y).

Para el presente estudio y para efectos de estandarización del sistema espacial referencial, la información cartográfica esta en el Sistema de referencia espacial del DMQ (SIRES) con DATUM (WGS-84) y Proyección Transversa de Mercator Modificada (TMQ). Cabe mencionar que todas las figuras presentadas en esta disertación están colocadas con fines esquemáticos, es decir, no se puede hacer uso de una adecuada medición, debido a que su escala no es la real. Para aquellos casos será necesario revisar los mapas anexos al presente estudio.

Figura 2. Ubicación del sistema de captación y conducción Papallacta en el contexto cantonal



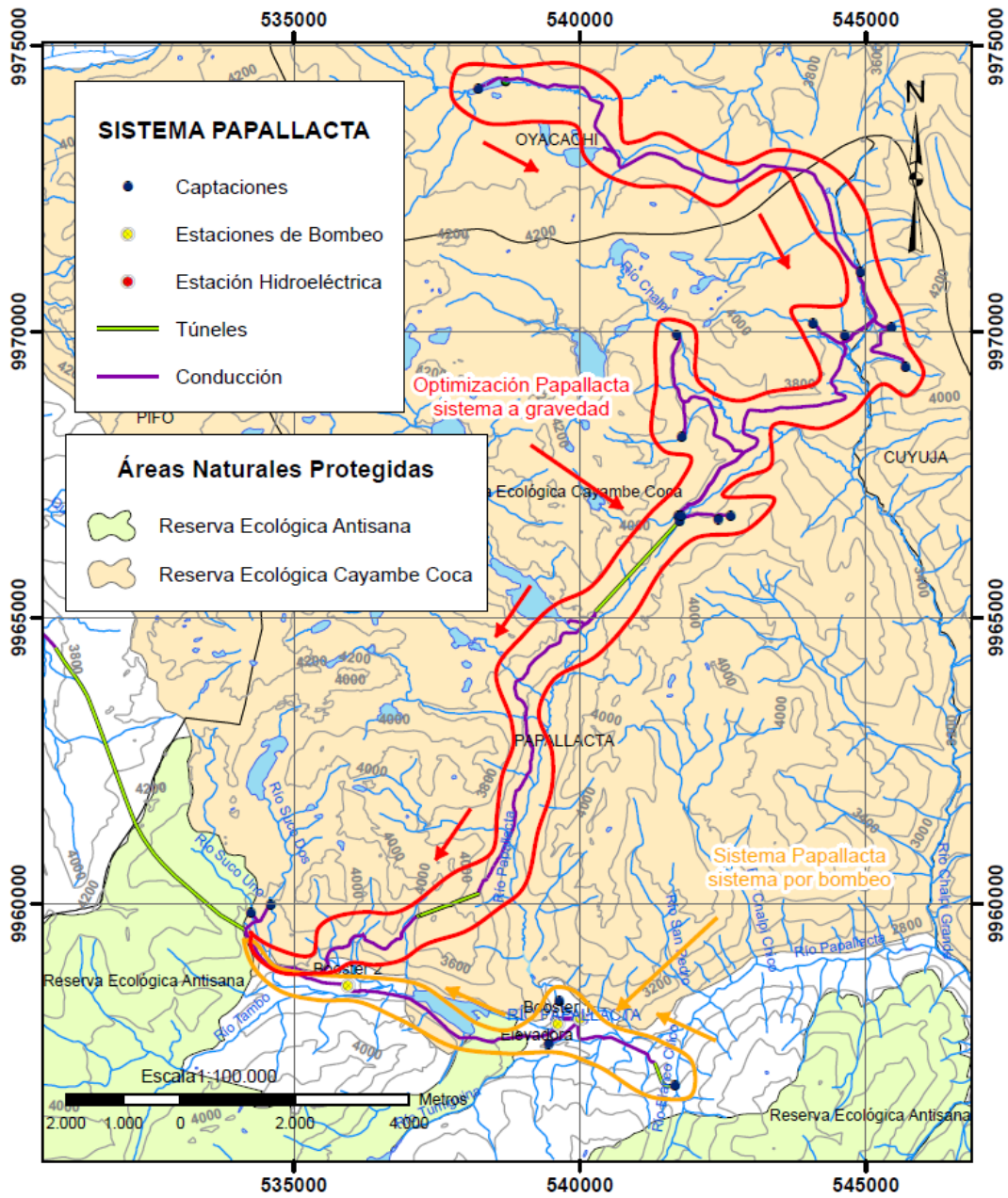
Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales

2.2. Sistema de captación y conducción Papallacta

Para el abastecimiento del servicio de agua potable en el Distrito Metropolitano de Quito, se destaca un sistema de captación llamado Papallacta el cuál utiliza el método por bombeo y por gravedad para captar el agua cruda. El Sistema está constituido por captaciones y una línea de conducción, la mayor parte de sus captaciones están ubicadas en la provincia del Napo y dentro de la Reserva Ecológica Cayambe Coca y, una parte muy pequeña de la conducción se encuentra en dentro de la Reserva Ecológica Antisana, mientras el resto de la conducción abarca el Distrito Metropolitano de Quito además de los cantones Quijos y El Chaco.

La captación realizada por procesos de bombeo ha venido funcionando desde hace 21 años, pues éste empezó con la misión de bombear agua en el año 1990, captando el recurso de los ríos Blanco Chico, Papallacta y Tuminguina. La optimización de Papallacta aprovecha la captación y transporte del agua por medio de la fuerza gravitatoria evitando así el gasto de energía por bombeo. El agua es captada de los ríos Oyacachi, Chalpi, Mogotes y en sí de alrededor de 18 puntos de captaciones. La conducción es la encargada del transporte y en su punto de partida convergen las captaciones de la optimización, del bombeo y de las captaciones Sucus – San Juan.

Figura 3. Funcionamiento a gravedad y bombeo del sistema Papallacta



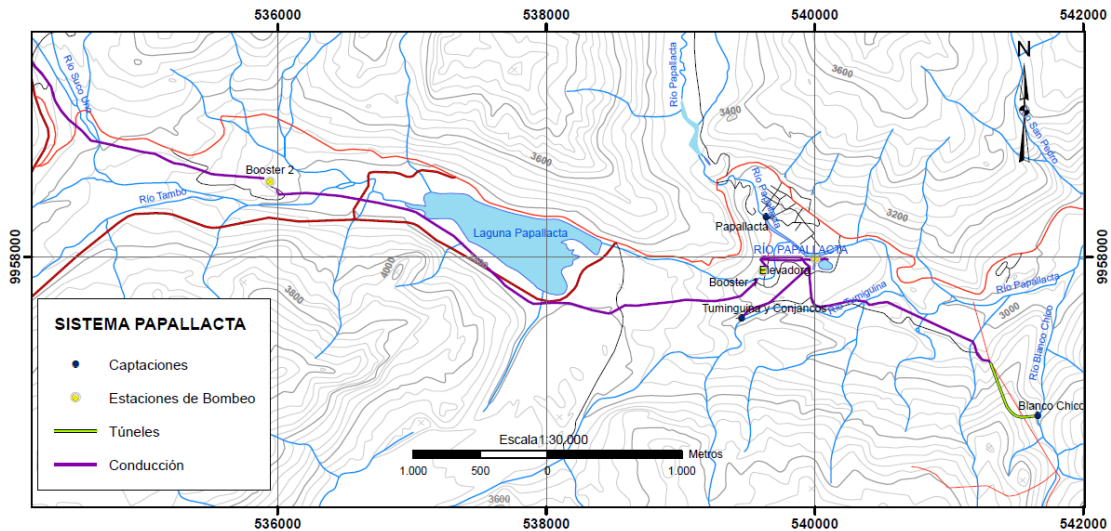
Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales

2.2.1. Sistema por bombeo

El sistema Papallacta empezó con su construcción en el año 1987 y su funcionamiento tres años después, con el cual se podía proporcionar agua a 1'500.000 habitantes de la ciudad de Quito, con un caudal de 3m³/s. Este proyecto capta agua desde la Cordillera Oriental en la parroquia Papallacta del cantón Quijos en la provincia del Napo, es decir; en alturas de alrededor de 4000 msnm. Los ríos proveedores de agua cruda son: Papallacta, Tumiguina y Blanco Chico.

Este sistema fue el primero en construirse, constituido por captaciones y estaciones, siendo 3 estaciones conocidas como Elevadora, Booster 1 y Booster 2, las cuales permiten elevar mediante procesos de bombeo, toda el agua cruda tomada de los ríos. Las estructuras sobre los ríos son captaciones de tipo lateral o de fondo y azudes para el control de crecientes con sistemas de decantación incorporados.

Figura 4. Sistema por bombeo Papallacta



Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales

2.2.2. Sistema por gravedad

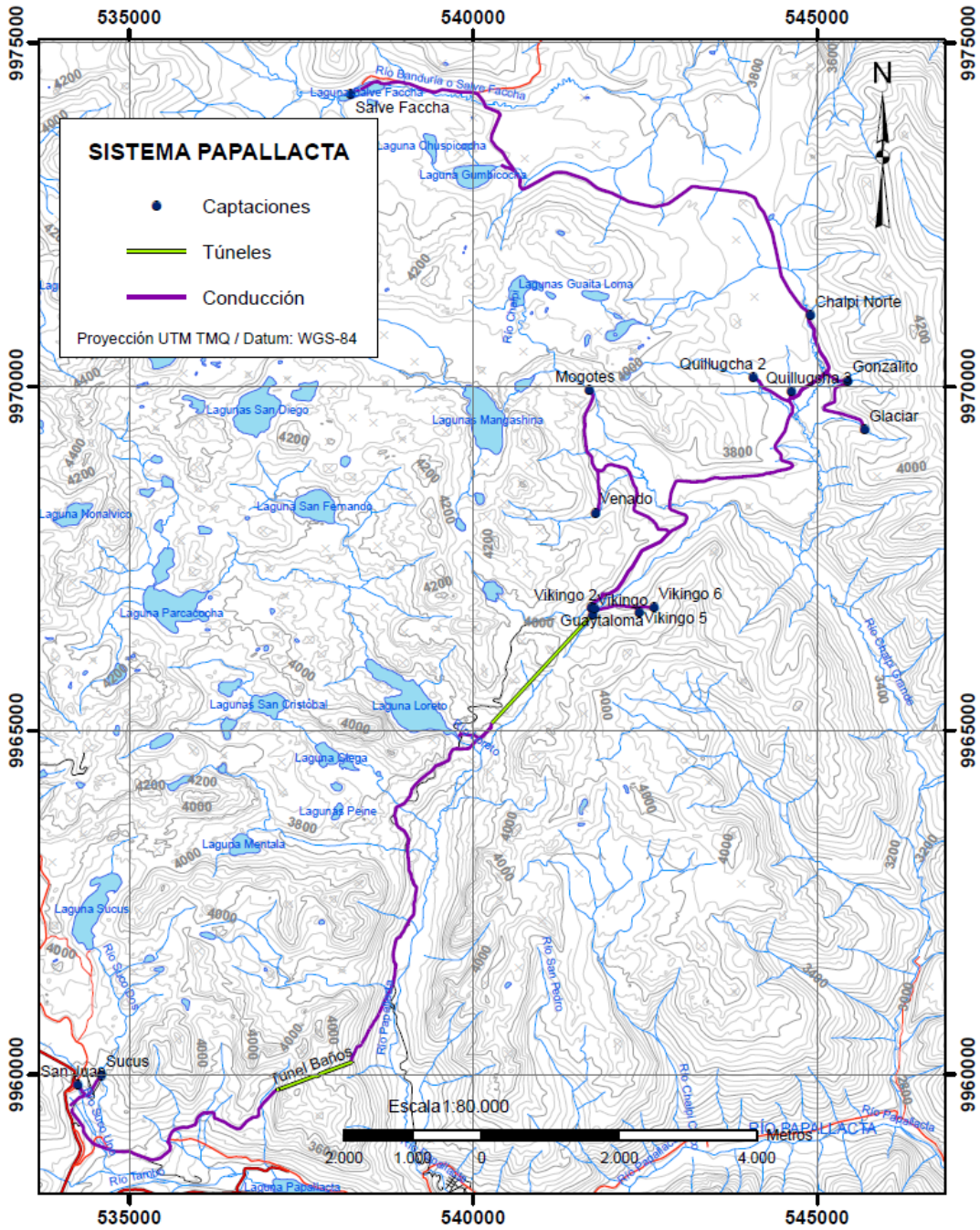
Conocido como Optimización del Sistema Papallacta empezó a funcionar en el año 2000 después del Sistema Papallacta por bombeo, con el objetivo de aprovechar el agua captada con un caudal de diseño de $3\text{m}^3/\text{s}$ tomando en cuenta el gradiente altitudinal transportando el agua por medio de la fuerza gravitatoria y así reducir costos de energía.

La optimización está localizada en la cima de la Cordillera Oriental de los Andes entre $0^{\circ}12' \text{ S}$ y $0^{\circ}25' \text{ S}$ de latitud y $78^{\circ}15'00'' \text{ W}$ y $78^{\circ}07' 30'' \text{ W}$ de longitud. En los cuales el suelo está mayormente cubierto de páramos altos en las cabeceras de los ríos Mogo Papallacta, Chalpi y Oyacachi. Dentro de la Reserva Ecológica Cayambe Coca (RECA Y).

El sistema está constituido por la Presa Salve Faccha, un dique de regulación ubicado en la laguna Mogotes y, captaciones fluviales de los ríos, Chalpi, Glaciar, Gonzalito, Guaytaloma, Mogotes, Quillugsha 2 y 3, Venados y Vikingos, además de 3 tanques de regulación de presiones. Las captaciones y conducciones son tomadas en cuenta como elementos importantes de los subsistemas, por tal razón, solamente éstas aparecen cartografiadas. (Figura 5).

Cabe destacar que existe una implementación que se construyó anteriormente a la optimización, El sistema Sucus- San Juan, se construyó en el año 1994 para aprovechar el agua de la Laguna Sucus y del río San Juan, los cuales proveen entre $0,3$ y $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ además de utilizar el sistema por gravedad y evitar los costos por bombeo.

Figura 5. Optimización Papallacta, sistema por gravedad



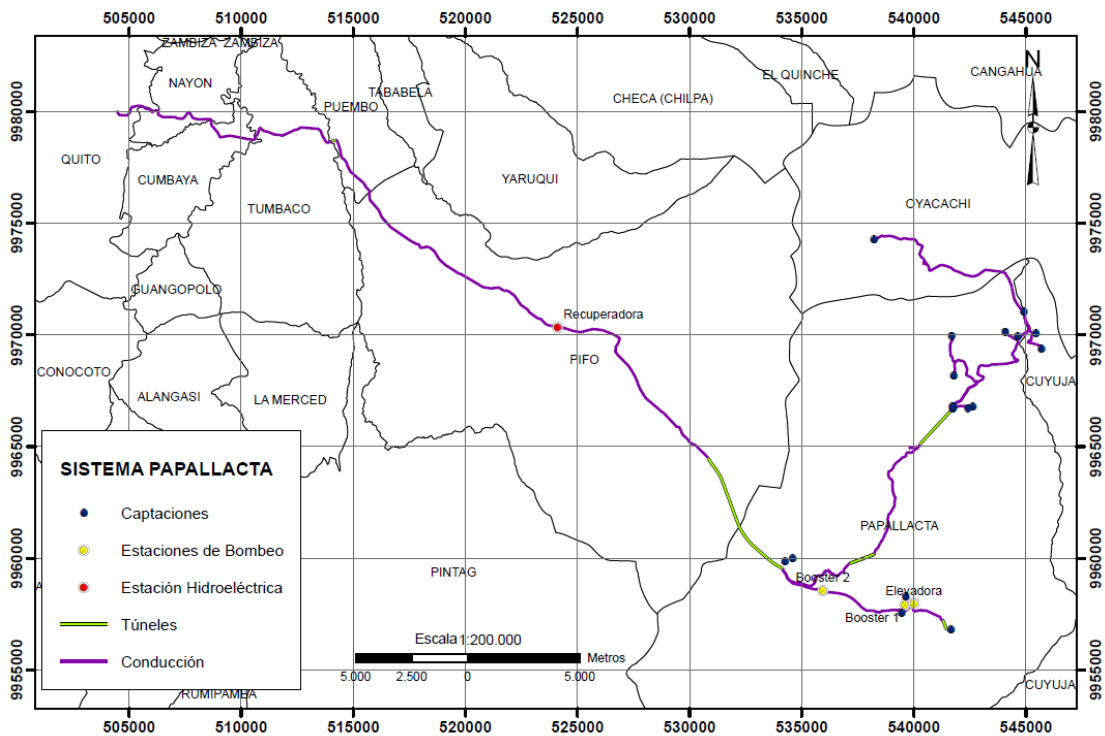
Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales

2.2.3. Línea de Conducción

La conducción es la encargada del transporte de agua recogida por las captaciones de forma continua. La conducción principal y sus aducciones laterales están constituidas por tuberías metálicas y de Policloruro de vinilo, conocidas comúnmente como PVC, que es un material plástico pudiendo ser de diferentes diámetros, revestido interiormente con pintura epóxica, exteriormente con una cinta de polietileno y, cuenta con un sistema de protección catódica, túneles perforados en roca como Quito, Guaytaloma y Baños, tanques rompe presión y, válvula esférica. Cabe destacar que las estaciones de bombeo y de energía trabajan conjunta y directamente en el transporte de agua cruda. (Figura 6).

El túnel Quito es el trasvase que permite la conducción normal del agua que llega desde el sistema por bombeo, optimización y sistema Sucus-San Juan. Fue construido para manejar un caudal de los 8 m³/s y la mayor parte de su tubería se encuentra enterrada y existen varios pasos aéreos que cruzan varios ríos y quebradas. Su punto más alto está a 3881 m.s.n.m. ubicado dentro de la Reserva Ecológica Cayambe - Coca

Figura 6. Línea de conducción del sistema Papallacta



Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales

2.3. Elementos Importantes del Sistema

Éste estudio de vulnerabilidad hace mayor énfasis a analizar los elementos importantes constituidos del Sistema de Captación y Conducción Papallacta. Es por ello que después de conocer y analizar el Sistema en su funcionamiento como en su espacialidad, se va a tomar en cuenta a los elementos importantes agrupándolos y constituyendo su respectivo subsistema.

Cuadro 1. Tabla de elementos importantes y subsistemas del Sistema de captación y conducción Papallacta por su funcionamiento y espacialidad.

ELEMENTOS IMPORTANTES		
CAPTACIONES	SUBSISTEMA I	Captaciones por bombeo
	SUBSISTEMA II	Captaciones de la optimización
	SUBSISTEMA III	Captaciones Sucus-San Juan
CONDUCCIONES	SUBSISTEMA I	Conducción por bombeo
	SUBSISTEMA II	Conducción por gravedad
	SUBSISTEMA III	Conducción Sucus-San Juan
	SUBSISTEMA IV	Conducción Túnel Quito-Bellavista
ESTACIONES	BOMBEO	Elevadora, Booster 1 y Booster 2
	ENERGÍA	Estación Recuperadora

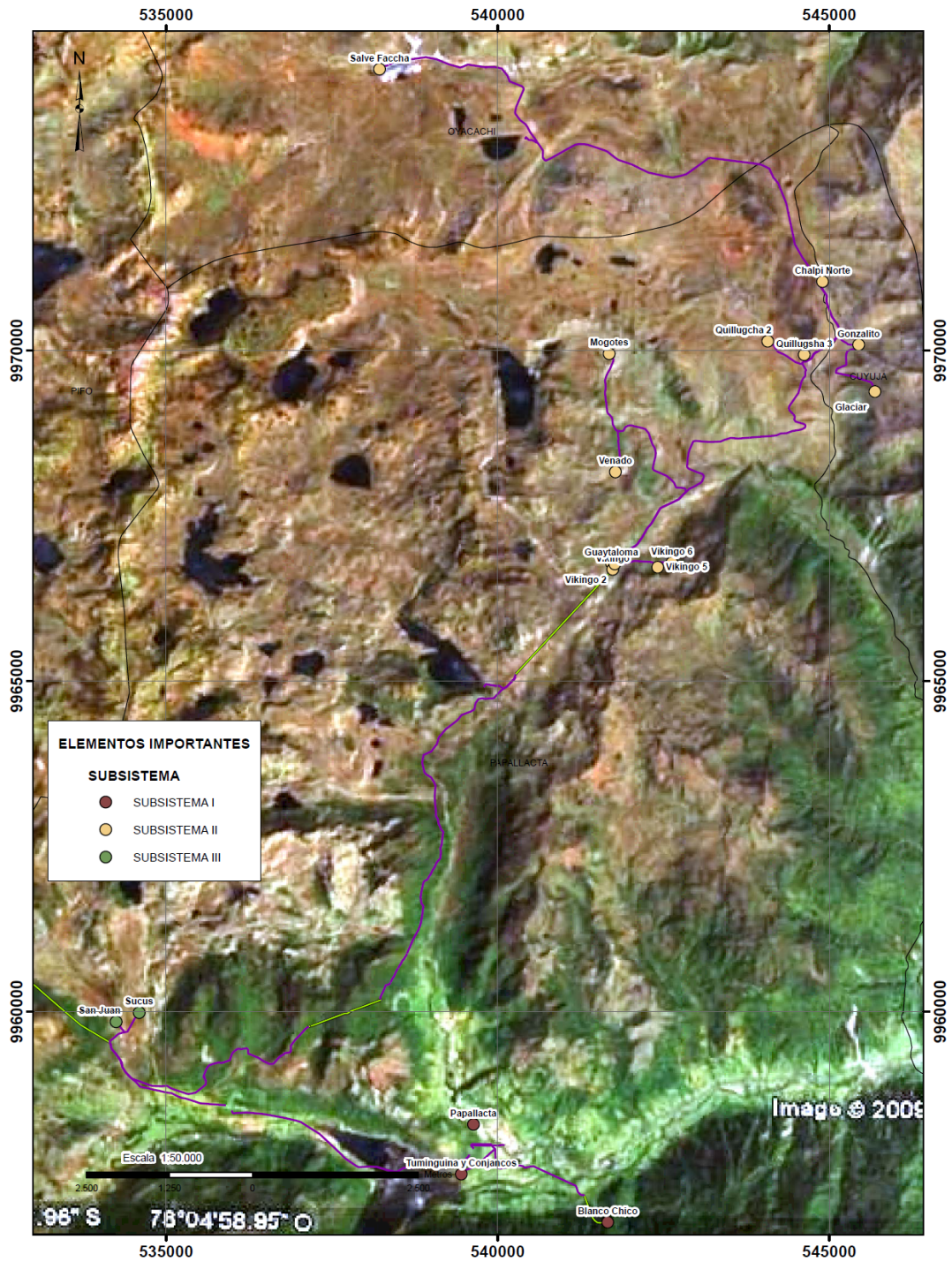
Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales, 2011.

2.4. Captaciones

Por captaciones nos referimos a las obras y mecanismos construidos a nivel del terreno o subterráneo para recolectar agua proveniente de fuentes naturales. En el sistema Papallacta la mayoría de obras son estructuras en superficie que permiten asegurar un caudal de extracción para después de varios procesos el recurso pueda ser utilizado por los ciudadanos.

En este estudio nos referimos como captaciones a los puntos de toma de agua cruda, incluyendo toda obra civil y mecánica necesaria para la aducción del recurso. En este capítulo se describirán las captaciones como elementos importantes de cada subsistema, siendo parte de las captaciones del sistema por bombeo, optimización y Sucus - San Juan.

Figura 7. Elementos importantes de los subsistemas de las captaciones



Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales
 Imagen Satelital. Satélite: Quickbird: 02 - 04 - 2007
 Combinación de bandas R: 5, G: 4, B: 3

2.4.1. Captaciones del sistema bombeo - Subsistema I

- Captación del río Papallacta

La obra está ubicada cerca a la población de Papallacta, en terrenos privados con uso del suelo dedicado al pastoreo, el acceso a las instalaciones están bajo acuerdos entre los dueños de los terrenos y la EPMAPS-Q para el normal acceso con el fin del control y mantenimiento de las obras. La estructura es de hormigón constituido por azud, lecho dissipador de energía, muros laterales, rejilla de captación, canal de desfogue de sedimentos de la captación y compuertas, existiendo 2 vertederos rectangulares, uno de operación y otro de excesos.

Forma parte del sistema de abastecimiento de agua por bombeo, la obra de captación es de tipo convencional con rejilla de captación lateral, que capta agua y la conduce para ser depositada en la pileta de la estación Elevadora, la cual mediante procesos de bombeo aporta un caudal de 1,7 m³/s del caudal medio del río Papallacta que es de 2,64 m³/s.

Aguas arriba de la captación Papallacta se encuentra la cabecera parroquial con la presencia de viviendas, negocios, complejos de piscinas termales, restaurantes, sitio de pesca deportiva, hoteles, etc. en un entorno compartido con suelos dedicados al pastoreo y la presencia de ganado vacuno. Mientras que la obra está ubicada a 250 m aguas abajo del punto de restitución de las aguas turbinadas de la central hidroeléctrica ECOLUZ de HCJB, la que no forma parte del sistema, pero que sigue el curso del río.

Según el Estudio de Impacto Ambiental Expost para el Aprovechamiento Hidroeléctrico del Sistema Papallacta realizado en el 2006 afirma que la toma del río no se encuentra funcionando debido a la calidad de agua producto de la adición de residuos líquidos domésticos de la población Papallacta, lo que podría generar un deterioro de la buena calidad de agua de otras fuentes y aumentaría los costos de tratamiento de la misma.

- Captación del río Tuminguina

La captación Tuminguina es parte del sistema por bombeo, su estructura es una rejilla de fondo que permite captar agua a través de un canal de recolección con un caudal máximo de 3.66 m³/s El agua captada es alimentada por los ríos Potrerillos, Cojancos y

de la Laguna Papallacta. El caudal captado es regulado por medio de una tubería, que se encuentra entre la toma y su dissipador, el mismo que tiene una compuerta de limpieza para evacuación de materiales pétreos entre otros. Los alrededores de la obra están recubiertos por vegetación arbustiva y pastizales, el último destinado al pastoreo del ganado vacuno.

Es importante tomar en cuenta que esta captación se encuentra suspendida debido al derrame de petróleo sobre el río Tambo que contaminó de hidrocarburos a la Laguna Papallacta, además que varias veces se han dado estos sucesos aún en los últimos años. Por lo tanto hasta la fecha está prácticamente inhabilitada la captación, pero se está construyendo una obra para poder captar agua desde un afluente cercano y menos contaminado. Ubicada a la margen derecha del río Tuminguina, la vertiente Cojancos manejaría un caudal de 500 l/s aproximadamente. (Véase fotografía 1)

Fotografía 1. Captación del río Tuminguina y Cojancos



Fuente: Jorge Luis Proaño Morales, Agosto 2011.

La corriente del río es caudalosa, además que su lecho es de entre 6 y 7 m presenciando rocas, a las márgenes existen pastos, arbustos, vegetación arbórea que se están interviniendo en los bosques para aumentar la frontera agropecuaria.⁹ El acceso a la captación es por medio de una vía carrozable que atraviesa terrenos privados. Un trabajador del sitio menciona que por inconvenientes de servidumbre, la construcción para captar agua del río Cojancos que se está realizando tuvo retrasos anteriormente por el paso y acceso a la toma. Además se debe destacar que en la visita a una de las estaciones se menciona por el operador que alrededor de 10 años atrás, los ciudadanos de la provincia del Napo, cerraron las válvulas de la captación de Tuminguina por temas políticos.

- Captación del río Blanco Chico

El sitio de captación y el río Blanco Chico se encuentran en el flanco oriental de la Cordillera Real, donde los relieves son montañosos agrestes, así como en los contornos de la obra se puede observar afloramientos rocosos, vegetación arbórea y arbustiva en una zona húmeda. Cuenta una vía carrozable muy estrecha que atraviesa un túnel para ingresar a la obra.

Los terrenos aledaños para ingresar a la toma están destinados al pastoreo, pues existe la presencia de ganado, además de verse muy pocos arbustos, vegetación arbórea con plantas epífitas; y de observarse deforestación por encontrarse árboles talados y caídos. Sin embargo estas prácticas no afectan directamente a la captación.

La estructura de la obra está constituida por una toma de fondo, vertederos, rejillas con compuertas manuales que funcionan como un sistema integrado del sistema de bombeo que permite captar un caudal de 1,36 m³/s. Hace varios años, se presentó un acontecimiento que producto de deslizamientos y desprendimientos de roca, la obra se vio afectada, sin embargo, se reparó y se construyeron muros para proteger la obra de eventos que pudiesen darse a futuro.

⁹ Estudio de Impacto Ambiental Expost para el aprovechamiento hidroeléctrico del Sistema Papallacta I, 2001.

2.4.2. Captaciones por gravedad - Subsistema II

- Captación Presa Salve Faccha

La captación se encuentra en una zona de sub-páramo con pajonales dentro de la Reserva Ecológica Cayambe-Coca. Consta con una represa de 44 metros de altura y una longitud de 190 metros que embalsa el agua de la microcuenca del río Cunuyacu, el volumen que maneja alrededor de 10,5 millones de metros cúbicos.

La estructura permite captar y enviar agua por gravedad con capacidad máxima de 1450l/s y un caudal regulado de 1000 l/s por medio de un desagüe de fondo, y el excedente se descarga por un vertedero lateral.

Fotografía 2. Agua embalsada de la represa Salve Faccha



Fuente: Jorge Luis Proaño Morales, Abril 2011.

- Captación río Chalpi

Esta captación se encuentra dentro de la RECA Y, en zonas de humedales de páramo enriquecido en flora con predominancia de pajonales, rodeado de montañas con pendientes medianas y a sus alrededores presencia de ganado vacuno. Es importante

destacar que la microcuenca que alimenta al río Chalpi tiene cobertura vegetal herbácea y pajonales, almohadillas y remanentes boscosos naturales.

El caudal que permite aportar del recurso agua es de $0,148 \text{ m}^3/\text{s}$ siendo su estructura de hormigón, constituido por azud, lecho disipador, tanque de carga, rejilla de captación, cuenco de amortiguamiento, desarenador, desripiador, canal de desfogue de sedimentos y muros laterales. Cabe destacar que es parte del sistema por gravedad, es decir, de la Optimización Papallacta.

En la visita a campo se evidenció un posible deslizamiento que podría ocasionar con este movimiento un ligero golpe de ola en el agua embalsada de la captación.

- Captación río Quillugsha 2

Encontrándose dentro del RECA Y, esta captación pertenece al sistema de la Optimización de Papallacta, es decir, al sistema por gravedad. Con una estructura de toma, constituido por desarenador, vertedero y sistema de limpieza, el caudal de diseño es de $0,224 \text{ m}^3/\text{s}$ aporta con un caudal al 95% de $0,066 \text{ m}^3/\text{s}$.

La vegetación de esta zona es abundante debido a la protección de ecosistemas de páramos que se da a través de las normas ambientales en el país. En el sitio se pueden observar arbustos, pajonales, almohadillas, plantas herbáceas, plantas epífitas, etc. Sin embargo hay presión del recurso por la presencia de ganado vacuno así como desechos orgánicos de los animales. En la observación de campo en agosto del 2011 se observo cerrado el paso del agua para caudal ecológico.

Esta captación se encuentra asentada sobre estratos de suelos limo arenosos, la microcuenca está formada de relieves planos intercalados con formas redondeadas, los caudales provenientes de los riachuelos de las partes altas de la Cordillera Oriental conforman los humedales que alimentan al río para ser captado.¹⁰

¹⁰ Auditoría Ambiental, Sistema de abastecimiento de agua Papallacta, 2006.

- Captación río Quillugsha 3

La captación se localiza en medio del ecosistema de páramo con pajonales dentro de la Reserva Ecológica Cayambe Coca. La infraestructura está constituida por una cámara de recolección, rejilla de fondo, desarenador, compuertas manuales y sistema de limpieza. Es parte del sistema de gravedad.

En la visita al campo se observó defecación del ganado sobre la obra, además de un deslizamiento muy cercano a la obra.

- Captación Mogotes y dique de la Laguna Mogotes

Constituido por un dique que embalsa el recurso agua de la laguna Mogotes, cuenta con un vertedero, tubería de desagüe. Aguas abajo, en el río Mogotes existe un azud su toma es una rejilla lateral, contiene tanque de carga, desarenador, estructura de control de crecidas y compuertas de limpieza. El caudal regulado es de 0,700 m³/s. Es importante destacar que existe una vía y una línea de conducción que recorre paralelamente el camino que pertenece a la Optimización Papallacta.

La obra se encuentra en un valle glaciar en relieves moderados, la vegetación que rodea la captación predominantemente es el pajonal y almohadillas, además se encuentran especies arbóreas y arbustivas en medio de humedales, además de fauna de aves, pareciendo existir un ligera transición del cambio de uso de suelo, reduciendo el pajonal a suelos dedicados al pastoreo.

- Captación El Gonzalito

El Gonzalito es alimentado por el caudal de la captación del río Glaciar, debido a la contigüidad de las microcuencas de páramo con predominancia de arbustos y vegetación herbácea como pajonales. En el sitio hay presencia de pastoreo, caminos de ganado vacuno, en la visita se observó sobrepisoteo del ganado y rodamiento de material superficial que afectan directamente a la captación.

La obra se encuentra conformada sobre el cauce del riachuelo que tiene poca profundidad, de pendiente longitudinal media a alta, que conforma un valle encañonado en forma de “V”, limitado por colinas que generan pendientes altas de formas

onduladas. Lateralmente las capas superficiales que limitan el cauce están conformadas por cenizas de espesores que varían de 2 a 3 metros.¹¹

Esta captación forma parte de la Optimización Papallacta, con una toma tipo convencional con compuertas manuales y su rejilla capta conjuntamente 0,43 m³/s con las captaciones Quillugsha2, Quillugsha 3 y Glaciar. Cuenta con una vía carrozable con control y restricción para ingresar desde Papallacta a Salve Faccha.

- Captación Venado

Esta captación consiste en una estructura de hormigón constituido por una rejilla de fondo, sistema de limpieza con compuertas metálicas y sistema de control de crecidas por medio del embalsamiento de agua. Cuenta con una vía carrozable exclusivamente para el acceso a esta obra, en la visita de campo se observó un pequeño derrumbe en la vía.

Existe predominancia de pajonales almohadillas. El nombre de esta captación se debe a que existen animales silvestres como venados y conejos.

- Captación Guaytaloma

La obra se encuentra protegida por muros debido a los taludes construidos. Su estructura es de hormigón, cuenta con rejilla de fondo, compuertas manuales, canal de recolección, desripador, tanque de carga, sistema de limpieza, sistema de regulación y sistema de control de crecidas. Su caudal de aporte es de 0,150 m³/s.

El paisaje del sitio se nota intervenido, con pocos arbustos y plantas herbáceas. En la visita al campo se observó cerrado el paso de agua para caudal ecológico evitando así la escorrentía del cauce y por lo tanto la posibilidad de utilizar el recurso por otras especies aguas abajo. Existe una vía carrozable para el ingreso hacia la obra.

- Captación Guaytaloma 2

Localizada sobre la quebrada Guaytaloma, entre pendientes medias a altas. La obra cuenta con muros que permiten direccionar el agua y embalsar el agua. Para el año

¹¹ Plan de Manejo Ambiental Sistema de Abastecimiento de Agua Papallacta, Auditoría Ambiental, 2006.

2006, según la Auditoría Ambiental el arrastre y acumulación de sólidos tiene colmatado la obra, haciendo ineficiente la operación de la captación.

- Captaciones Vikingos

Son captaciones pequeñas que aportan un mínimo caudal de agua, sin datos precisos, en las visitas al campo no se pudieron reconocer estas obras, algunos libros mencionan la presencia de estas obras, otras no. La cartografía digital presentada para este estudio aparecen las captaciones Vikingo, Vikingo 2, Vikingo 5 y Vikingo 6.

2.4.3. Captaciones Sucus - San Juan - Subsistema III

- Captación Sucus y dique Sucus

La captación tiene una regulación debido a la presencia de un dique con válvulas que pueden ser manipuladas de forma manual y a control remoto en el desagüe de la Laguna Sucus. La misma que tiene un espejo de agua de 5 hectáreas y 20 metros de profundidad, en una cota de 4000 m.s.n.m. El caudal del río Sucus es de 0,348 m³/s. Su infraestructura está presente en medio del ecosistema páramo con vegetación predominantemente por achupallas y pajonales, encontrándose dentro de la Reserva Ecológica Cayambe Coca, con fauna silvestre, además de encontrar rastros de ganado vacuno.

La obra está conectada por una vía carrozable que llega al ingreso del túnel Quito así como con la carretera interoceánica. En el sitio existe presencia permanente de personal laboral y tienen comunicación por radio y teléfono convencional y celular.

En la salida al campo se observo desgaste de la vía que permite el ingreso vehicular al dique por el cual el agua está embalsada, en éste sitio se pueden tomar datos y maniobrar las compuertas. La irrupción del paso en la vía se debe a la presencia alta de lodazal lo que podría ocasionar inconvenientes y riesgo para el operador al dirigirse a la Laguna. Además cuenta el operador que por la presencia de turistas hace alrededor de 5 años se produjo quema de páramo, por lo cual hoy por medio del Ministerio del Ambiente se educa a las personas visitantes al sitio que cuiden y preveserven el ecosistema.

El excedente de agua continua el cauce natural desembocando en la Laguna Papallacta, las tuberías que conectan la captación con la conducción son pequeñas haciendo que no exista una óptima aducción provocando mayor escorrentía.

Fotografía 3. Dique Sucus y parte de su agua embalsada



Fuente: Jorge Luis Proaño Morales, Agosto 2011.

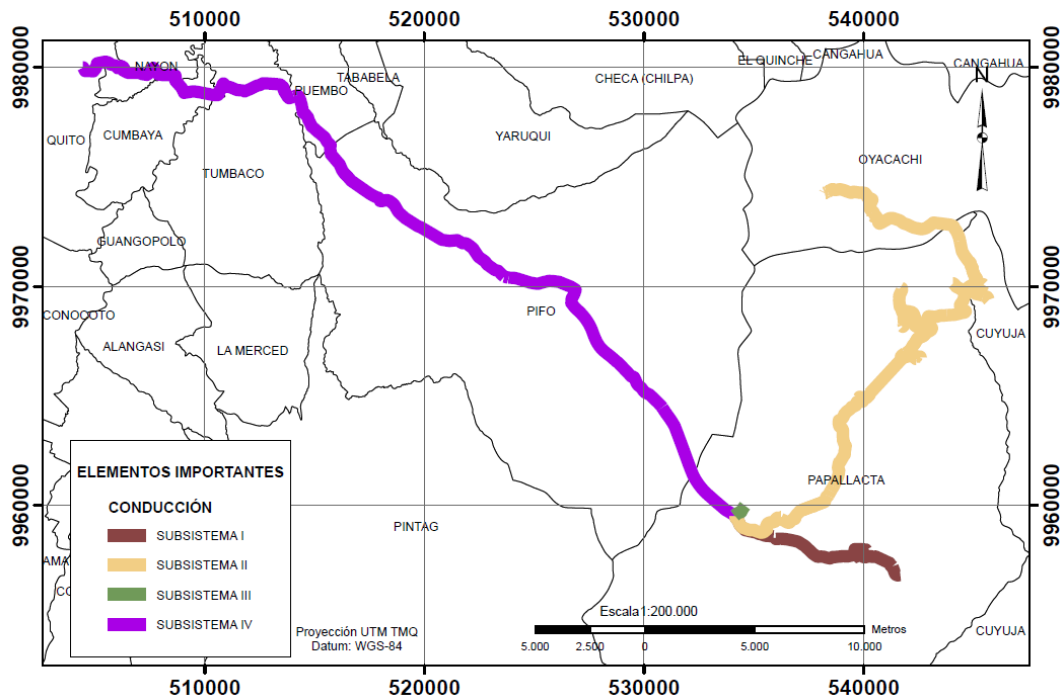
- Captación San Juan

La captación del río San Juan aporta con un caudal de $0,325 \text{ m}^3/\text{s}$ y de la misma forma, muy similar a la captación Sucus cuentan con una rejilla de fondo con su sistema de limpieza y control de crecidas; las dos permiten el paso del agua que llegue a un desarenador de doble cámara, antes de su entrega a la entrada al túnel, además de aportar agua por gravedad, permite reducir los costos por bombeo. La toma del San Juan se encuentra en una zona plana y a poca distancia de la carretera interoceánica que conecta con Quito.

2.5. Conducción

La conducción es parte del sistema de agua potable, que se encarga de transportar el agua con un flujo continuo captado desde un punto en una fuente natural hasta entregarlo en otro punto. La conducción principal y sus aducciones laterales están constituidas por tuberías metálicas de PVC de diferentes diámetros, revestido interiormente con pintura epóxica, exteriormente con una cinta de polietileno y, cuenta con un sistema de protección catódica, túneles perforados en roca como Guaytaloma y Baños, tanques rompe presión y, válvula esférica. Para el presente estudio, éste elemento será descrito por: el subsistema I siendo la conducción del sistema de bombeo, subsistema II perteneciendo a la optimización, subsistema III conocido por ser parte del subsistema Sucus - San Juan, subsistema IV que empieza donde se unen las demás conducciones en la entrada al Túnel Quito y llega hasta terminar en la planta Bellavista.

Figura 8. Elementos importantes de los subsistemas de la conducción



Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales

2.5.1. Conducción por bombeo - Subsistema I

La obra de conducción se caracteriza por transportar agua desde las captaciones Blanco Chico, Tuminguina, Papallacta, cuenta con el túnel Blanco Chico que permite el paso de acceso a la captación del mismo nombre y de su tubería.

Gran parte de la conducción cumple su función por medio de las estaciones bombeadoras interconectadas por una tubería de 48" (pulgadas) hasta llegar a la entrada al túnel Quito. Esta conducción supera el nivel altitudinal, es decir el agua es transportada de menor a mayor altitud y tiene una longitud de 4450 m entre las estaciones. La tubería se encuentra mayormente expuesta hasta llegar a la Estación Elevadora, desde ahí la tubería va enterrada entre las estaciones.

2.5.2. Conducción por gravedad - Subsistema II

Este sistema se refiere exclusivamente a la conducción del sistema de optimización Papallacta mediante gravedad, permite transportar un caudal de 3 m³/s hasta el tanque de interconexión del túnel Quito, a lo largo de 24 km de la línea principal, 3,6 km de túneles como el Túnel Baños que permite el paso del agua a través de un tubería y el Túnel Guaytaloma que conduce el agua sin el revestimiento de un acueducto y, 6.45 km de líneas secundarias que corresponden a los ramales de las captaciones, Chalpi Norte, Guaytaloma y Mogotes. Transporta agua cruda, aun en pantanos, donde la tubería pasa por encima colocada sobre marcos con forma parecida a la letra H.

La longitud total de la conducción de la optimización es de 26 kilómetros de tubería de acero entre 24 y 48 pulgadas de diámetro y, 2.40 kilómetros de tubería PVC de 14 pulgadas.

Cuadro 2. Características de la conducción a gravedad según las captaciones

Captación	Longitud (m)	material de la tubería	diámetro	caudal nominal
Glaciar	1360	PVC	14"	50 l/s
Gonzalito	1046	PVC	14"	107 l/s
Chalpi Norte	1604	acero	30"	1000 l/s
Quillugsha 2	589	acero	24"	150 l/s
Quillugsha 3	144	acero	26"	150 l/s
Venado	1000	acero	12"	120 l/s
Guaytaloma	290	acero	24"	1000 l/s
Túnel Guaytaloma	2515			3000 l/s
Túnel Baños	1150			3000 l/s

Fuente: Optimización del Sistema Papallacta, Alternativa de construcción. Año 1991-1992

Este subsistema esta abscisado correspondiente a la optimización, empezando desde la Presa Salve Faccha. Cabe destacar que existen tanques rompe presión como los son: tanque rompe presión N°1 abscisa 3+100 en el sector de Guambicocha siendo el primero de los tanques, que como su nombre lo dice tiene la función de romper presión con la que baja el agua. Ésta está ubicada a 3872m.s.n.m. Tanque rompe presión N°2 se encuentra a 3807 m.s.n.m. en la abscisa 10+741. Tanque rompe presión N°3 ubicado en el portal de entrada del túnel Guaytaloma en la abscisa 14+592. Tanque rompe presión N°4 ubicado en el portal de entrada del túnel Baños a 3746 m.s.n.m. en la abscisa 20+606.

2.5.3. Conducción Sucus - San Juan - Subsistema III

El acueducto del Sucus tiene 203 m de longitud y 18" de diámetro, siendo la conducción total con tuberías de acero 18" o 20" de diámetro y más de 450 m de longitud total entre Sucus y San Juan. La conducción empieza desde el dique de la Laguna Sucus hacia aguas abajo donde se unen al desarenador y pasan al tanque de interconexión en la entrada al túnel Quito. Cuenta con una cámara de válvulas de control con actuador electromecánico además de un bypass. Este subsistema empezó en el año de 1994 encontrándose dentro de la Reserva Ecológica Cayambe - Coca (RECA Y) y es controlado por el personal que se encuentra en la estación a salida del túnel Quito.

2.5.4. Conducción Túnel Quito - Bellavista - Subsistema IV

Este tramo dirige el agua a través de una tubería de acero enterrada de 48 pulgadas con una longitud total de 35,5 km aproximadamente. A su paso se encuentra la central Hidroeléctrica Recuperadora, cuenta también con una válvula esférica encargada de la regulación del caudal de agua.

Es importante destacar que en este sector la conducción atraviesa áreas pobladas, las cuales toman a consideración la servidumbre y que en el presente estudio se analizara esta situación con mayor detalle. Además de la presencia de tres cruces importantes de los ríos Chiche y San Pedro, el ultimo influenciado por el paso de lahares ante una erupción del Cotopaxi. Sin embargo el paso de la tubería es subterránea para estos cruces, y el paso aéreo para el cruce con el río Machangara.

- Estación entrada túnel Quito

Se encuentra ubicada a la entra al túnel Quito, siendo un punto de importancia ubicado a 3725 m.s.n.m. pues se unifican las aguas en tanques de interconexión que vienen desde el sistema a gravedad, por bombeo además de los caudales del Sucus y San Juan. En el sitio hay la presencia de guardias y operadores que controlan el caudal de entrada, salida y pileta cámara de salida, además del subsistema Sucus - San Juan.

En este sitio está el tanque rompe presión N° 5, pues permite la interconexión de las conducciones del sistema bombeo, de la optimización y del ramal Sucus - San Juan.

- Túnel Quito

Constituida por el túnel Quito con una longitud de 6350 m un diámetro 3,35 m y su entrada está en la abscisa 23+986. Es un túnel perforado en roca y es alimentado por el agua de la optimización, bombeo, y de las captaciones directas de los ríos Sucus y San Juan. La cota de entrada es de 3725 m.s.n.m. y su pendiente es de 1/1000.

- Estación salida túnel Quito

Se encuentra al terminar el Túnel, existiendo una estación con la presencia de personal, encontrándose a 3724,9 m.s.n.m. en el sitio existe un tanque con desfogue, y a partir de

éste el agua es transportada por medio de una tubería de 48 pulgadas mayormente enterrada y con varios pasos aéreos descritos en este subcapítulo.

Los pasos elevados y las válvulas de desfogue han sido visitados en campo, pues estos sitios son los únicos expuestos superficialmente y visibles a lo largo de la conducción desde el túnel Quito hasta la Planta Bellavista, por lo tanto son puntos en los que debe existir un rutinario control. Además que son sitios que por estar a la vista son identificables de daño alguno que pudiese sufrir la tubería a diferencia de los tramos enterrados.

- Paso elevado quebrada Carihuaycu aguas arriba

La conducción se encuentra sobre el cruce de la quebrada Carihuaycu, cuenta con la vía que permite el acceso a la salida del túnel Quito, encontrándose este paso muy cercano inclusive a la carretera principal a Quito.

El sitio en el que se puede visualizar la tubería, alrededor está cubierta de vegetación herbácea como pastos y pajonales, además de vegetación arbustiva como pequeños matorrales en la margen izquierda del río. (Fotografía 4.)

Fotografía 4. Paso elevado quebrada Carihuaycu aguas arriba



Fuente: Jorge Luis Proaño Morales, Agosto 2011.

- Paso elevado quebrada Carihuaycu aguas abajo

La tubería de la conducción cruza la quebrada Carihuaycu aguas abajo del anterior paso, el acceso a este punto es por medio de una vía carrozable en mal estado que atraviesa terrenos de una hacienda privada. En el sector se observa una alteración en el uso del suelo, pues se visualiza desde vegetación herbácea como pajonales, arbustos naturales, y plantaciones de árboles, además de fauna de aves, existe también ganado lechero, éste ganado ésta controlado con cercas de alambres de púas. (Fotografía 5.)

En la salida al campo se observo que una acequia natural está afectando la vía, haciéndola pantanosa en un sector, impidiendo que puedan transitar los autos de la EPMAPS-Q.

Fotografía 5. Paso elevado quebrada Carihuaycu aguas abajo



Fuente: Jorge Luis Proaño Morales, Agosto 2011.

- Paso elevado quebrada Huarmiihuaycu

Este paso aéreo de la obra se encuentra a cerca a la estación Recuperadora y cerca a la construcción para la nueva planta de tratamiento de Paluguillo, cruzando la quebrada Huarmihuaycu. Además para el acceso al sitio se cuenta con una vía de acceso carrozable y fácil de controlar por el personal de la empresa que se encuentra en el sitio. (Fotografía 6.)

Fotografía 6. Paso elevado quebrada Huarmiihuaycu



Fuente: Jorge Luis Proaño Morales, Agosto 2011.

- Paso elevado quebrada Corazón aguas arriba

En el sitio se observan materiales amontonados y bloques de rocas cerca a las dos tuberías, la una que se dirige a la planta Bellavista y la otra que abastece a la planta de Calluma. La conducción cruza la quebrada Corazón, además de la presencia cercana de la vía principal a Quito.

Fotografía 7. Paso elevado quebrada Corazón aguas arriba



Fuente: Jorge Luis Proaño Morales, Agosto 2011.

- Paso elevado quebrada Corazón aguas abajo

En el área pasan dos acueductos, la más grande transporta el agua a la planta Bellavista en Quito y la otra la dirige a la Planta Calluma y al nuevo aeropuerto, en la fotografía se observa una tubería más pequeña, la cual sirve para el paso de cableado eléctrico.

Ésta se encuentra ubicado en la parroquia de Pifo, la tubería cruza la quebrada aproximadamente a 1,2 m de altura.

Fotografía 8. Paso elevado quebrada Corazón aguas abajo



Fuente: Jorge Luis Proaño Morales, Agosto 2011.

- Válvula de desfogue del río Chiche

Esta válvula tiene permite desfogar el caudal que viene desde el túnel Quito y se dirige hacia la Planta Bellavista. Al sitio se llegue por una vía carrozable y se encuentra ubicado a la entrada de un restaurante. Es un punto importante de la conducción para situaciones emergentes. Para manipular la válvula se debe ingresar a una cámara enterrada. (Fotografía 9.)

Fotografía 9. Válvula de desfogue, río Chiche



Fuente: Jorge Luis Proaño Morales, Agosto 2011.

- Paso elevado quebrada del Payaso

Como podemos observar en la fotografía 10. Este paso está ubicado en la parroquia rural de Tumbaco cruzando la quebrada del Payaso. El sitio está cercado por mallas debido a que el paso aéreo se encuentra en un área poblada. La profundidad a la que pasa el cauce de la quebrada es mayor a 5m.

Fotografía 10. Paso elevado quebrada del Payaso



Fuente: Jorge Luis Proaño Morales, Agosto 2011.

- Válvula de desfogue, río San Pedro

Esta válvula se encuentra localizada a orillas del río San Pedro, sobre la margen derecha del río, en la abscisa 40+900 de la conducción, en el límite de las parroquias rurales de Tumbaco y Cumbaya. En la visita al campo se evidenció la presencia de perros agresivos que cuidan la propiedad privada cercana al sitio, además de una puerta automática que impide el paso vehicular oportuno de los trabajadores de la EPMAPS-Q. Por lo tanto se debe pasar caminando y esto impediría la eficiencia de respuesta en caso de emergencia.

Fotografía 11. Cámara de la válvula de desfogue abscisa 40+900



Fuente: Jorge Luis Proaño Morales, Agosto 2011.

- Paso aéreo quebrada Pillagua

El acceso al sitio puede ser por la urbanización Pallares en la parroquia rural de Cumbaya, antes también se podía pasar por el complejo de la empresa eléctrica Quito (EEQ), pero hoy está bloqueado el paso por un muro que cerca la propiedad privada aledaña. El paso aéreo se encuentra sobre una quebrada contaminada a lo largo por los desechos que produce el complejo, en medio de la vegetación alrededor que está cubriendo la tubería.

Fotografía 12. Paso elevado quebrada Pillagua



Fuente: Jorge Luis Proaño Morales, Agosto 2011.

- Paso aéreo y válvula de desfogue, río Machangara

El paso aéreo y válvula de desfogue del río Machangara se encuentra aproximadamente en la abscisa 43+500, siendo el cauce el límite entre las parroquias rurales de Cumbaya y Nayón. El acceso al sitio se puede dar por las dos márgenes del río, sin embargo el paso que accede a la margen derecha del río en donde se encuentra la válvula de desfogue está cerrado debido a que se encuentra en propiedad privada donde hay la presencia de ganado, además de mal mantenida la vía de acceso. Mientras que el otro acceso por la margen izquierda es a través de la urbanización privada “El huerto de Nayón” donde al final de la vía hay un paso elevado, los terrenos están con pastos, matorrales y escasos arboles.

En la salida al punto de observación, en vista que se ingreso por la margen izquierda y que para acceder a la cámara de desfogue, fue necesario cruzar por los soportes de la tubería del un lado al otro del río, haciendo que esto sea un riesgo al trabajador, además podría hacer ineficiente una maniobra en situaciones emergentes cuando se necesite abrir aquella válvula durante una precipitación elevada. Además el trabajador comentó que existe otro paso aéreo aproximadamente a 100 metros al oeste del cruce del Machangara.

Fotografía 13. Cámara de la válvula de desfogue y paso elevado abscisa 43+500



Fuente: Jorge Luis Proaño Morales, Septiembre 2011.

- Paso aéreo quebrada Uraloma

Este cruce de la conducción se encuentra en el sector de San Juan Uno de Tanda, en la entrada a la urbanización “El huerto de Nayón”, en el sitio está el portón de entrada y la caseta del guardia por lo cual hay quien directamente pueda observar la tubería.

En la quebrada hay plantaciones con árboles de eucalipto, sin embargo es una quebrada que pasa la mayor parte del tiempo seca. Cuenta el trabajador, que por el año de 1992 hubo un deslizamiento que arrastro materiales socavando la parte baja, donde se encuentran los soportes de la tubería, por lo cual fue necesario construir muro de gaviones como protección.

Fotografía 14. Paso elevado quebrada Uraloma

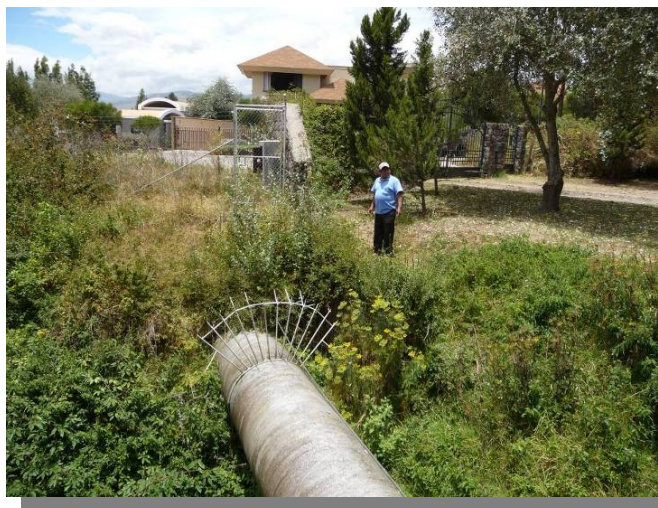


Fuente: Jorge Luis Proaño Morales, Septiembre 2011.

- Paso elevado zanja

La tubería de conducción en este sitio se encuentra en la parroquia rural de Cumbaya, para su acceso se debe ingresar por a la urbanización privada “Rincón del Valle”, el paso aéreo limita a la urbanización con una hacienda privada. Ésta cruza sobre una zanja seca con vegetación bajo la tubería, además cruza una manguera sobre la tubería, que al parecer permite el paso de cableado eléctrico, sin embargo no se sabe si se lo da utilidad.

Fotografía 15. Paso elevado zanja

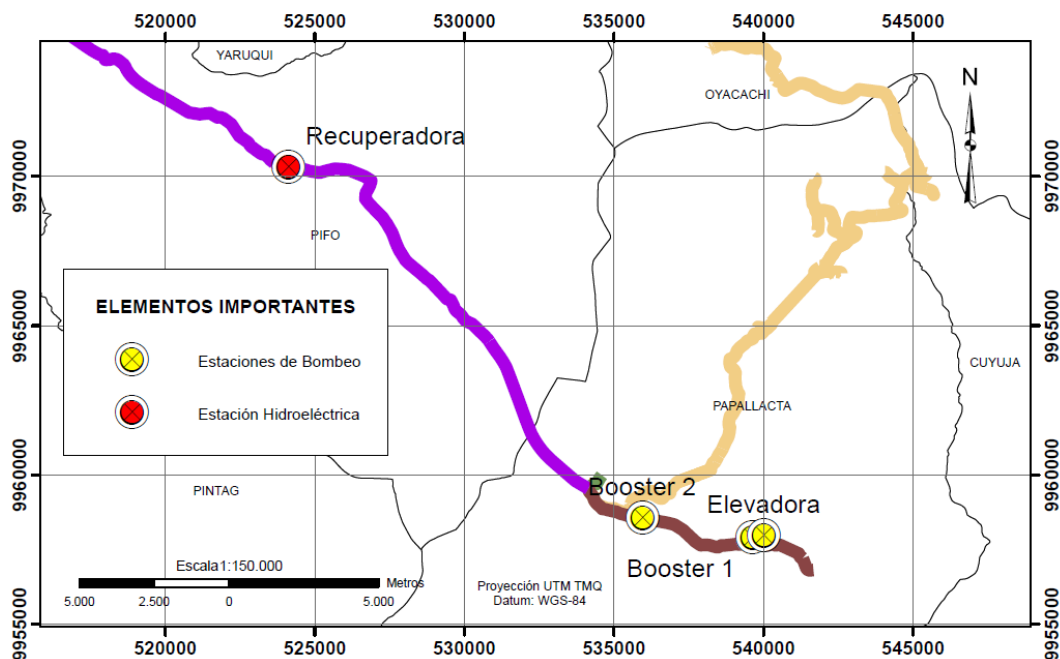


Fuente: Jorge Luis Proaño Morales, Septiembre 2011.

2.6. Estaciones

Son las estaciones que forman parte del sistema de bombeo construido en 1987 y que empezó a funcionar como primera opción para traer agua de la Provincia del Napo hacia Quito. Son 3 las estaciones que permiten suministrar de agua a la entrada del túnel de conducción que se encuentra a una cota de 3700 m.s.n.m. bombeando el recurso transportado en contra de la gravedad alrededor de 500 m más abajo. El sistema cuenta con una estación hidroeléctrica que permite la generación de energía en compensación al desgaste de las estaciones de bombeo.

Figura 9. Ubicación de las estaciones de bombeo y energía



Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales

2.6.1. Estación de bombeo

- Estación Elevadora

La estación se encuentra a orillas del río Papallacta a 3122 m.s.n.m. Está constituida principalmente por 5 unidades de bombeo verticales y una pileta central. Tres bombas son operativas mientras que 2 sirven de apoyo, la pileta central es donde converge el agua ya desarenada de las captaciones del río Blanco Chico, Tuminguina y Papallacta,

maneja un volumen de 37.800 m³. Su función es recibir el agua cruda y empujarla hacia la estación Booster 1 ubicada a una cota de 60 metros más alta. La comunicación hacia otras estaciones es a través de radio o teléfono, además de contar con servicio de internet.

Generalmente esta estación empieza su funcionamiento cuando el sistema por gravedad es insuficiente para abastecer a la población de Quito, bombeando agua del río Blanco Chico y en épocas secas y de mayor desabastecimiento se capta también agua del río Papallacta. Según el operador, en la visita a la estación en el mes de agosto comentó que en lo que lleva del 2011, ha sido necesario tan solo utilizar 2 bombas en época de sequía, y el resto del tiempo no ha sido necesario utilizar el sistema por bombeo.

- Estación Booster 1

Constituida por 5 bombas horizontales que manejan un caudal de 750 l/s y a una altura de 3242 m.s.n.m. es la encargada de transportar el agua que viene de la estación Elevadora e impulsarla hacia la estación Booster 2. El río Tuminguina y futuramente la quebrada Cojancos proveen directamente de su recurso a esta estación.

La estación coordina con las estaciones Elevadora y Booster 2, por lo cual es considerada como estación matriz, la comunicación entre las estaciones se da por medio de radio y teléfono, sin embargo el encargado de la estación mencionó que teme por riesgo de robo en las noches debido a que tan solo hay un solo guardia que vigila la estación Elevadora y patrulla por momentos la estación Booster 1, quedando ésta vulnerable y desprotegida ante acontecimientos que pudiesen darse. También recuerda que la caída de ceniza provocada por la erupción del volcán El Reventador afectó el sitio así como a las válvulas motorizadas. Existe además la presencia de una subestación eléctrica cercana.

- Estación Booster 2

La estación está ubicada a 3416 m.s.n.m. su función es bombear el agua casi 300 m. para poder llevar agua hacia la entrada al túnel de conducción. Constituido de igual forma por 5 unidades de bombeo horizontales y de características similares a la anterior estación, cuenta además con una chimenea de equilibrio cerca.

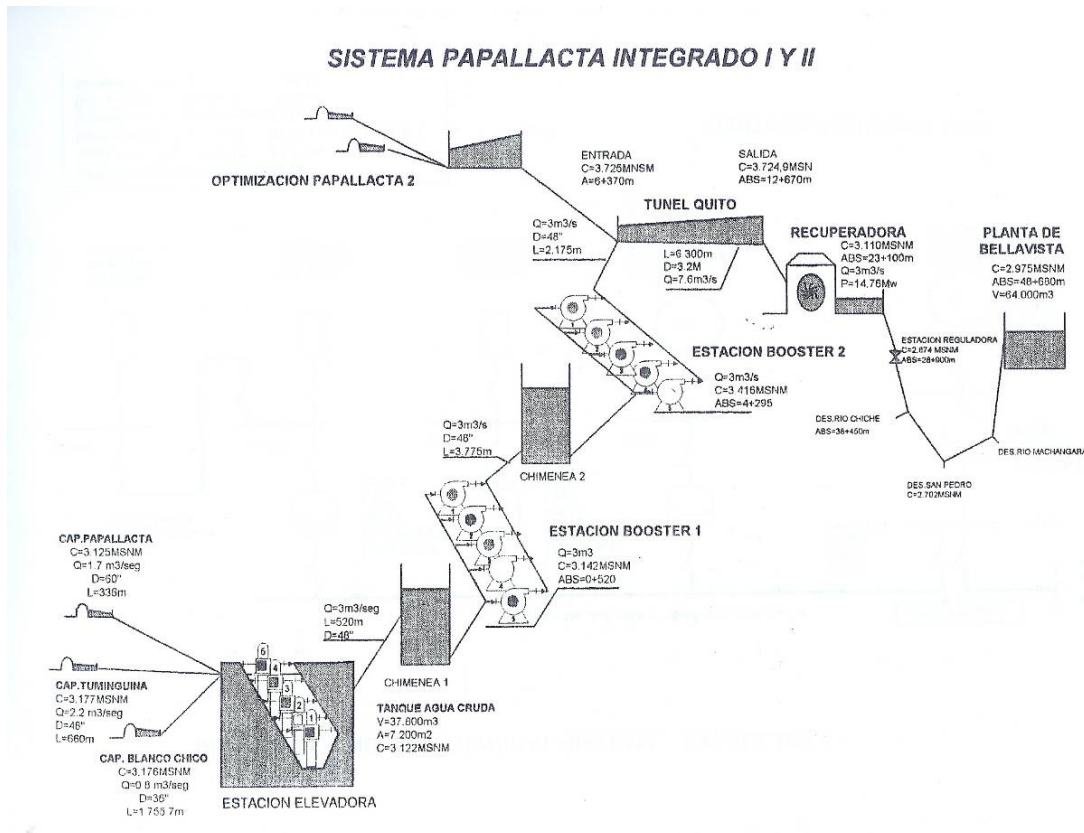
De la misma forma aconteció, caída de ceniza del volcán El Reventador afectando el lugar, siendo necesario cubrir con plásticos los motores de las bombas. Cuenta el operador además que por eventos atmosféricos como son los rayos se han visto en la obligación de paralizar el funcionamiento, además de contar con una subestación eléctrica cercana.

2.6.2. Central Hidroeléctrica Recuperadora - Energía

La Central Hidroeléctrica Recuperadora es también conocida como Estación Paluguillo por ubicarse cercana a la población de Paluguillo, ésta se encuentra a una cota de 3110 m.s.n.m. en pastizales con transición en el uso del suelo a construcciones. Funciona desde el 1991 y cumple las funciones de romper con la alta presión con la que el agua baja desde el inicio de la conducción y explotar el salto de desnivel para recuperar energía por medio de una turbina que es utilizada cuando existe un caudal superior a $1,5\text{m}^3/\text{s}$. La central está constituida por una turbina, bypass y una pileta de compensación. La potencia del generador es de 14,76 MW con una velocidad de rotación de 720 rpm. Toda la energía generada es dirigida a una subestación de 6,6 kv a 138 kv, que por medio de una línea de alta tensión se conecta a la Central El Carmen y la Estación Santa Rosa.

El agua que desciende con fuerza y que después de aprovechar la energía, se recolecta el recurso en la pileta que tiene una capacidad de 450 m^3 para nuevamente ser transportada por la conducción.

Figura 10. Diagrama del Sistema de captación y conducción Papallacta



Fuente: Estudio de Impacto Ambiental Expost para el aprovechamiento Hidroeléctrico del Sistema, 2001.

CAPÍTULO 3.

ESTUDIO ANALÍTICO DE VULNERABILIDAD DE LOS SUBSISTEMAS

3.1. Análisis espacial de los subsistemas vulnerables

Un estudio de análisis de vulnerabilidad deber realizarse a instalaciones y obras de infraestructura cuyo funcionamiento ineficiente o evento desastroso provocado por amenaza de tipo natural o antrópica generen situaciones de emergencia o demandas que excedan la capacidad de atención.¹²

El análisis de vulnerabilidades consiste en la identificación de las debilidades y capacidades de los elementos pertenecientes a los subsistemas, determinando el comportamiento para resistir a los posibles efectos de un desastre. Estableciendo medidas de mitigación para respuestas ante el impacto que alguna amenaza produciría.

Las debilidades entendidas como aquello que puede limitar o reducir la capacidad de desarrollo y funcionamiento efectivo de los elementos que componen los subsistemas del sistema de captación y conducción. De entre las fases de vulnerabilidades que se analizaran están la vulnerabilidad intrínseca, la exposición ante amenazas y la dependencia a elementos externos, estos tres pertenecientes a las debilidades de éste estudio.

Las capacidades definidas como “la combinación de todas las fortalezas, los atributos y los recursos disponibles dentro de una comunidad, sociedad u organización que pueden utilizarse para la consecución de los objetivos acordados”.¹³ En cuanto a este factor, para el presente estudio consideraremos a la capacidad de control, las alternativas de funcionamiento y la preparación para el manejo de crisis.

¹² OPS-OMS, Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario, Guías para el análisis de vulnerabilidad. 1998 , pág. 16

¹³ UNISDR. Terminología sobre la reducción del riesgo de desastres, 2009

Para el desarrollo del presente capítulo, el cual está basado en el análisis de las debilidades y capacidades del sistema de captación y conducción Papallacta a través de sus subsistemas plasmados en una matriz conformada por las variables identificadas en el cuadro N° 3 y que es desarrollado detalladamente en cada subcapítulo.

Cuadro 3. Matriz para el análisis de vulnerabilidad por subsistemas del Sistema de captación y conducción Papallacta

ELEMENTOS	SUBSISTEMAS	DEBILIDADES							CAPACIDADES							
		Vulnerabilidad Intrínseca				Amenazas Naturales/Antrópicas			Dependencia a elementos	Capacidad de control	Alternativas de Funcionamiento	Manejo de Crisis				
CAPTACIONES		Caudal	Antigüedad (Años)	Mantenimiento	Material	Volcánicas	Sísmico	Remoción en masa	Energía eléctrica	Control Remoto por SCADA	Existencia / Ausencia	Comunicación	Planes y procedimientos	Simulacros		
Captaciones por bombeo	Subsistema I															
Captaciones por gravedad	Subsistema II															
Captaciones Sucus-San Juan	Subsistema III															
CONDUCCIONES		Kilometraje	Años	Diámetro	Material	Volcánicas	Sísmico	Remoción en masa	Energía eléctrica	Control Remoto	Existencia / Ausencia	Comunicación	Planes y procedimientos	Simulacros		
Conducción por bombeo	Subsistema I															
Conducción por gravedad	Subsistema II															
Conducción Sucus-San Juan	Subsistema III															
Conducción Túnel Quito-Bellavista	Subsistema IV															
ESTACIONES		NO APLICA	Años	NO APLICA		Volcánicas	Sísmico	Remoción en masa	Energía eléctrica	Control Remoto	Existencia / Ausencia	Comunicación	Planes y procedimientos	Simulacros		
Elevadora, Booster 1, Booster 2	Bombeo															
Estación Recuperadora	Energía															

Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales, 2011.

3.1.1. Vulnerabilidad intrínseca de los subsistemas, como conjunto de elementos

La vulnerabilidad intrínseca está basada en el análisis de los elementos, en este caso de los subsistemas como conjunto de los elementos importantes. Debido a las repercusiones que podrían darse en el caso de desabastecimiento del servicio de agua para la población del DMQ.

El presente estudio está enfocado a las debilidades que caracterizan el funcionamiento del sistema, por ser susceptibles al funcionamiento normal, analizando a los elementos internamente sin tomar en cuenta a elementos externos que pudiesen afectar directa o indirectamente a los subsistemas. De esta forma se determina a las variables por medio del caudal de las captaciones, el kilometraje de los acueductos de la conducción, la antigüedad, el mantenimiento y el material compuesto en los elementos de los subsistemas. Esto por ser particularmente el Sistema Papallacta, pues si se desearía recrear éste estudio para otro sistema de captación y conducción deberá tomarse a consideración los parámetros técnicos representativos al sistema, pues cada sistema tiene particularidades distintas por el simple hecho de estar en un territorio o espacio distinto, al igual que sus procesos de aducción y transporte sean distintos.

Cabe destacar que para las estaciones de bombeo, energía, chimeneas de equilibrio, grandes embalses, se deben realizar otro tipo análisis a mayor detalle, pues es preciso evaluar modelos matemáticos y traducir los resultados obtenidos a matrices de probabilidad de daños fundamentados en inspecciones en el sitio y manejo de información estadística acerca de flujos, niveles, presiones, calidad del agua, etc.

- Caudal

El caudal que capta cada subsistema de manera controlada y efectiva está ligado a la demanda de agua que requieren los pobladores del DMQ, para éste caso la necesidad de agua potable de los sectores cubiertos por la planta de tratamiento Bellavista. Es por ello en el cuadro N° 4 se establecieron los caudales considerando los datos de caudales entregados por los subsistemas desde enero del 2010 a diciembre del 2010 además de los caudales medios de diseño para los cuales fueron construidos.

Cuadro 4. Vulnerabilidad intrínseca según caudales de los subsistemas de captación

ELEMENTOS	SUBSISTEMAS	VULNERABILIDAD INTRÍNSECA	
		Caudal promedio 2010	Caudal de diseño aproximado
CAPTACIONES			
Captaciones por bombeo	Subsistema I	0,8 m ³ /s	> 3 m ³ /s
Captaciones por gravedad	Subsistema II	1,3 m ³ /s	3 m ³ /s
Captaciones Sucus-San Juan	Subsistema III	0,3 m ³ /s	0,8 m ³ /s

Elaborado por: Jorge Luis Proaño, 2011.
Fuente: Departamento de Servicios Especiales.

- Antigüedad

La antigüedad como indicador directo de vulnerabilidad intrínseca no está directamente relacionada a problemas particulares, sin embargo si podría fragilizar u ocasionar daños graves al subsistema si se lo relaciona con los usos y desgastes que una estructura enfrente.

El sistema de bombeo inicio su funcionamiento en 1990, mientras que el ramal Sucus - San Juan comenzó en el año de 1994 y, la Optimización Papallacta que es el sistema a gravedad en el 2001. La siguiente información se plasma en el siguiente cuadro:

Cuadro 5. Años de funcionamiento de los subsistemas

ELEMENTOS	SUBSISTEMAS	VULNERABILIDAD INTRÍNSECA
		Años de funcionamiento
CAPTACIONES		
Captaciones por bombeo	Subsistema I	21
Captaciones por gravedad	Subsistema II	11
Captaciones Sucus-San Juan	Subsistema III	17
CONDUCCIONES		
Conducción por bombeo	Subsistema I	21
Conducción por gravedad	Subsistema II	11
Conducción Sucus-San Juan	Subsistema III	17
Conducción Túnel Quito-Bellavista	Subsistema IV	21
ESTACIONES		
Elevidora, Booster 1, Booster 2	Bombeo	21
Estación Recuperadora	Energía	20

Elaborado por: Jorge Luis Proaño, 2011.

- Mantenimiento

El mantenimiento se lo realiza de manera preventiva y correctiva, sin embargo aplicarlos a los elementos de forma rutinaria y programada, favorece al control y prevención de mayor desgaste de los mismos. En algunos casos este trabajo permite que los trabajadores sean capaces de proveer respuesta eficaz ante emergencias y de alguna forma actuar rápidamente en casos de impactos de amenazas, trabajando en la rehabilitación del funcionamiento adecuado en el mínimo tiempo empleado.

En el departamento de Servicios Especiales de la planta de tratamiento Bellavista se elaboran cronogramas anuales de trabajos para los componentes importantes de los elementos de los subsistemas, tanto en obras civiles, mecánicas y eléctricas. Se ha resaltado el trabajo de obras civil para tomar en cuenta en este análisis, puesto que son los trabajos más recurrentes y visitados al sitio, por la labor de limpieza y mantenimiento que se da a las obras e infraestructuras, tanto en captaciones, conducciones y estaciones. Para el caso de las estaciones no sería coherente aplicar el mismo método, pues una estación por su función es un elemento realmente complejo y debe ser analizado en sus aspectos más importantes con alto valor técnico y levantamiento de datos para procesos estadísticos.

El cronograma de mantenimiento para el 2011 se ve reflejado en el siguiente cuadro, donde se indica el mantenimiento preventivo de los subsistemas.

Cuadro 6. Tabla de frecuencias de mantenimiento de los subsistemas

	ELEMENTOS	SUBSISTEMAS	MANTENIMIENTO
CAPTACIONES	Captaciones por bombeo	Subsistema I	Limpieza y mantenimiento 1 vez por semana
	Captaciones de la optimización	Subsistema II	Limpieza y mantenimiento 1 vez por semana
			Diques 1 vez cada 2 meses
Captaciones Sucus-San Juan	Subsistema III	San Juan 1 vez por semana	
		Desarenador 2 veces por semana	
CONDUCCIONES	Conducción por bombeo	Subsistema I	Limpieza túnel Blanco Chico 1 vez por semana
			Inspección de acueducto, limpieza y control de franja protección todo el año.
			Toma de datos de protección catódica de acueducto 1 vez por mes
	Conducción por gravedad	Subsistema II	Túnel Guaytaloma 3 veces al año.
			Inspección de acueducto, limpieza y control de franja protección todo el año.
Conducción Sucus-San Juan	Subsistema III	Inspección de acueducto, limpieza y control de franja protección	
Conducción Túnel Quito-Bellavista	Subsistema IV	Se realizó este año, sin embargo es 2da vez en 10 años.	
		Limpieza y mantenimiento de cruces aéreos 1 vez cada 2 meses	
ESTACIONES	Elevadora, Booster 1 y Booster 2	Bombeo	Inspección, limpieza y mantenimiento pileta Elevadora 1 vez por año. *
			Limpieza y mantenimiento Estaciones y campamentos del Sistema todo el año. *
	Estación Recuperadora	Energía	Pileta Recuperadora 1 vez por mes. *

* No se toma en cuenta en el análisis de vulnerabilidad intrínseca debido a que solamente se menciona el mantenimiento civil, pues los mantenimientos mecánicos y eléctricos, son de mayor relevancia en las estaciones.

Elaborado por: Jorge Luis Proaño

Fuente: Departamento de Servicios Especiales, 2011.

- Materiales

Los materiales a los que nos referimos para el análisis de la vulnerabilidad intrínseca están determinados por su infraestructura base, es decir cuál es el tipo de material con el que está constituido un elemento y por lo tanto todos estos en su respectivo subsistema

El material constituido para las captaciones es de hormigón y hormigón armado, excluyendo a las rejillas metálicas y sus compuertas mecánicas, pues el interés está fundamentado en lo que lo contiene al elemento.

Los subsistemas de las conducciones están determinados según su material, siendo éstos tubería en acero y tubería PVC con distinto diámetro, además de túneles perforados en roca. Para estos se evaluaron el kilometraje y el diámetro de las tuberías.

Como se expone en el Cuadro N° 7 en el caso de la estación de energía Recuperadora y las estaciones de bombeo Elevadora, Booster 1 y Booster 2 no se establece un material destacable, pues estos son elementos complejos constituidos por mandos mecánicos, eléctricos, etc. en general tecnológicamente más importante que su propia infraestructura base. Por este motivo se excluye a las estaciones fuera del análisis de vulnerabilidad intrínseca por sus materiales.

Cuadro 7. Tabla de los materiales constituidos de los subsistemas

ELEMENTOS		SUBSISTEMAS	MATERIALES	KILOMETRAJE (km)	DIÁMETRO
CONDUCCIONES	Conducción por bombeo	Subsistema I	tubería PVC y acero, túneles	4,5	48"
	Conducción por gravedad	Subsistema II	Tubería de acero, túnel	26	Acero 24", 28" y 48" PVC 14"
	Conducción Sucus-San Juan	Subsistema III	Tubería de acero	0,45	18" y 20"
	Conducción Túnel Quito-Bellavista	Subsistema IV	Tubería de acero y túnel Quito	35	48"
ESTACIONES	Elevadora, Booster 1, Booster 2	Bombeo	No aplica las estaciones		
	Estación Recuperadora	Energía			

Elaborado por: Jorge Luis Proaño, 2011.
Fuente: Departamento de Servicios Especiales.

3.1.2. Exposición de los subsistemas ante amenazas

En esta parte de la investigación se analiza el Sistema Papallacta a través de su ubicación espacial, pues eventos desastrosos históricos han sucedido en el Ecuador, por tal razón es importante identificar cuáles son los sucesos que se han producido sobre el área de estudio. Las amenazas son fenómenos potencialmente destructores los cuales generalmente pueden ser por origen natural y/o antrópico.

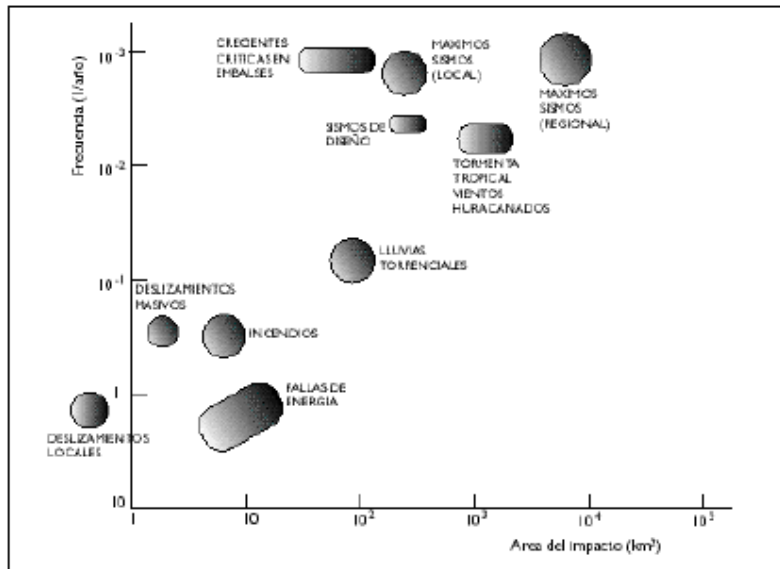
Este aspecto de exposición se verá reflejado los espacios frágiles, pues éstos son espacios en los que se encuentran los elementos importantes que en su conjunto forman subsistemas del gran sistema de captación y conducción Papallacta; aquellos que se encuentren expuestos a algún tipo de amenaza o sometidos algún grado de vulnerabilidad.

“Las amenazas naturales no son fuerzas incontrolables ante las que nada podemos hacer. La experiencia demuestra que con una acertada planificación y las medidas preventivas necesarias para reforzar los sistemas y tener listos los mecanismos de respuesta para casos de emergencia, el efecto de un desastre será minimizado. La implementación de programas que definan planes de mitigación y emergencia en continuo proceso de actualización, garantizan una respuesta responsable y eficaz ante los desastres.”¹⁴

Por otra parte es importante entender que se debe estar preparado para las amenazas que puedan afectar a todo el sistema, tanto de orden local como regional; ya que por lo general, cuando el alcance espacial es de mayor extensión, su frecuencia de ocurrencia es muy baja. En la siguiente figura se puede visualizar como por ejemplo: los deslizamientos locales son fenómenos con mayor frecuencia de ocurrencia pero su área de impacto es menor a 1 km² no así, los máximos sismos regionales en los que su frecuencia de ocurrencia es muy baja pero su alcance en el área de impacto es muy alta.

¹⁴ OPS-OMS, Guías para el análisis de la vulnerabilidad. Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. Pág. 2, 1998.

Figura 11. Amenazas naturales, rango aproximado de frecuencias y áreas de impacto



Fuente: OPS-OMS, 1998

La infraestructura del sistema permite el funcionamiento normal de abastecimiento y transporte de agua, por esta razón es necesario conocer qué fenómeno pudiese ocasionar daños, pérdida del servicio, trastornos sociales y económico, tomando en cuenta la exposición relacionada directamente por la localización de captaciones y conducción.

Este análisis está basado según la identificación de los fenómenos mediante la sobreposición de las áreas expuestas ante amenazas que puedan impactar o afectar a los subsistemas de captación, conducción incluyendo estaciones y chimeneas de equilibrio.

En cuanto a las amenazas naturales consideraremos a la amenaza sísmica, volcánica y especialmente una exposición por remoción en masa, pues estos fenómenos tienen relación espacial al área de estudio. Por otra parte, las amenazas de origen antrópico se describen a manera de hechos o situaciones pasadas y presentes que ocurren afectando directamente a los elementos de los subsistemas.

3.1.2.1. Amenazas sísmicas

La amenaza sísmica y tectónica está estrechamente relacionada con la geología y sus estructuras geológicas locales, acompañado por la descripción morfológica de la cordillera y el callejón interandino, que integra a toda el área de estudio. Por lo tanto no es objeto de éste estudio el análisis detallado a través de leyes de atenuación, fuentes sismogénicas, aplicación de cálculos de algoritmos, análisis con acelerógrafos etc. que represente el peligro sísmico, sino es tan solo sobreponer la información existente de los fenómenos potencialmente destructores donde está ubicado el sistema para conocer la vulnerabilidad del mismo.

Cuando se presentan sismos de gran magnitud, los efectos en el servicio de abastecimiento de agua pueden manifestarse en varios puntos de los cuales se mencionan significativos daños parciales y/o totales como en las estructuras de captación, rotura de tuberías de la conducción, daños en conexiones y válvulas, afectación en plantas de tratamiento destrucción, pérdida de energía eléctrica, deslizamientos en sitios de interés para las comunicaciones entre otros.

- Evento histórico

Para este análisis es de importancia tomar en cuenta los eventos ocurridos históricamente, aquellos sismos con niveles altos en intensidades y/o magnitudes, que afectaron a poblaciones y comunidades a nivel regional.

Uno de los hechos históricos más importantes haciendo referencia a una de las tragedias más desastrosas ocurridas en el Ecuador, son referidos a los movimientos sísmicos del 5 de Marzo de 1987 con magnitudes de 6,1 y 6,9 ocurridos en las faldas orientales de los Andes al Noreste del Ecuador, en la provincia del Napo a 25 km al norte del Volcán El Reventador, a menos de 100 km cercano a lo que hoy son las captaciones del Sistema Papallacta.

En aquel tiempo las comunidades afectadas por los sismos aquellas asentadas a lo largo de los ríos Papallacta, Salado, Dué, Aguarico y Coca, afectados por pérdida de recursos

vitales empobreciendo los recursos locales.¹⁵ Todo esto sucedió antes de la construcción del Sistema Papallacta por bombeo, sin embargo los grandes deslizamientos en masa e inundaciones producidos por el movimiento se dieron aguas debajo del río Papallacta y el resto de ríos Orientales, dañando inclusive al oleoducto trans-ecuatoriano. Por lo tanto es incierto cuales hubiesen sido los daños y afectaciones de abastecimiento de agua para la ciudad de Quito por los sismos ocurridos pocos años antes del funcionamiento del sistema de captación y conducción Papallacta.

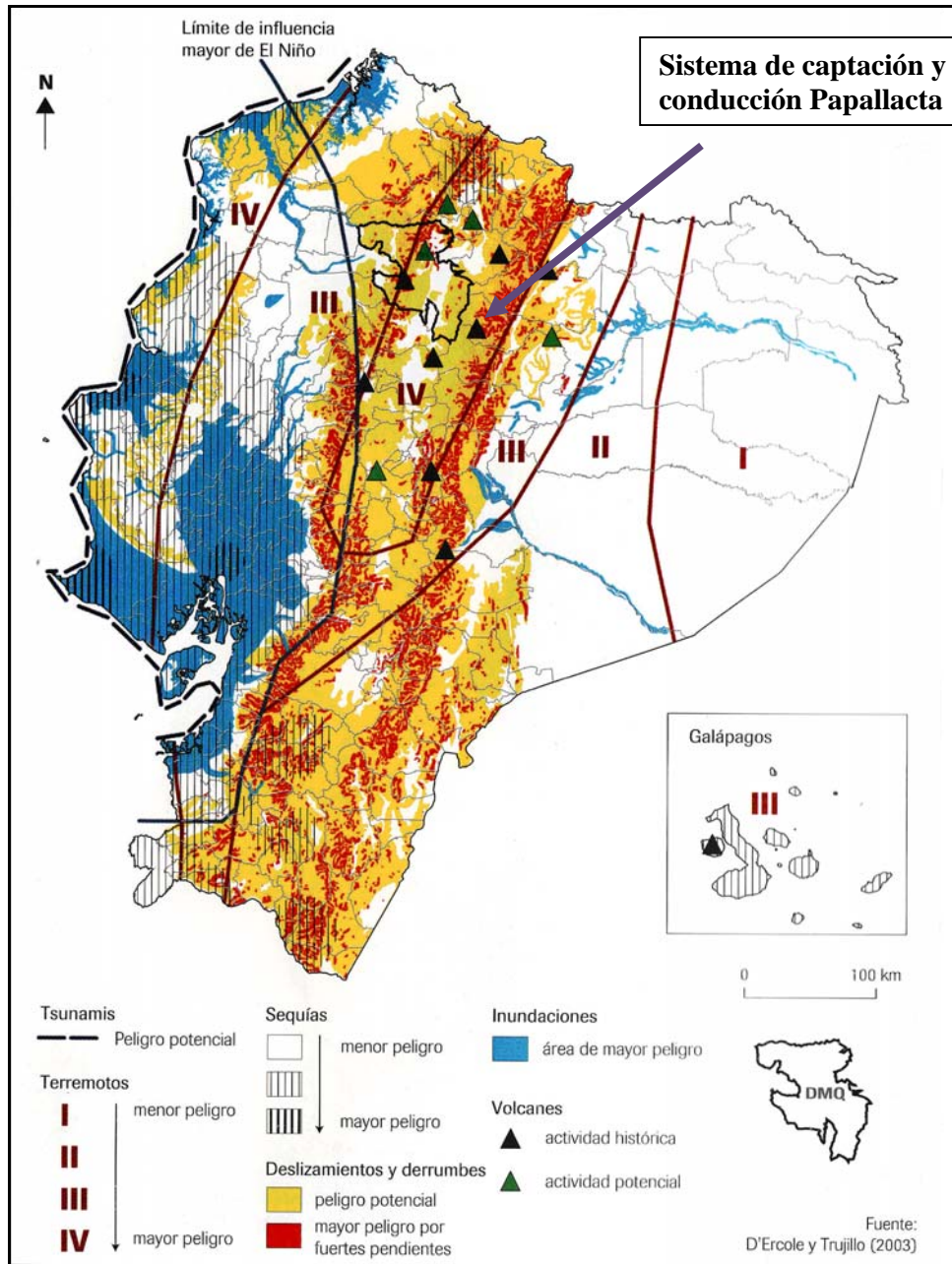
- Zonificación sísmica

Por medio del mapa de Zonificación del riesgo sísmico del Ecuador D'Ercole y Trujillo (2003) se puede observar que el área de estudio se encuentra en el nivel IV de mayor peligro a terremotos, con la presencia cercana a volcanes con actividad histórica. Sin embargo en más de 20 años que el sistema ha venido funcionando no se ha producido ningún sismo de gran intensidad, ni de baja intensidad que haya dañado o comprometido las estructuras de captaciones, conducciones, estaciones y chimeneas de equilibrio.

La información detallada conocida como microzonificación sísmica del Distrito Metropolitano de Quito, es precisa para el DMQ, sin embargo en ésta investigación no se la toma en cuenta debido a que el área de estudio es extensa y no incorpora información hacia el resto de cantones continuos de donde están ubicadas las captaciones y conducción del sistema Papallacta.

¹⁵ MINARD HALL. Los terremotos del Ecuador del 5 de marzo de 1987, deslizamientos y sus efectos socioeconómicos, Estudios de Geografía, Volumen 9, 2000.

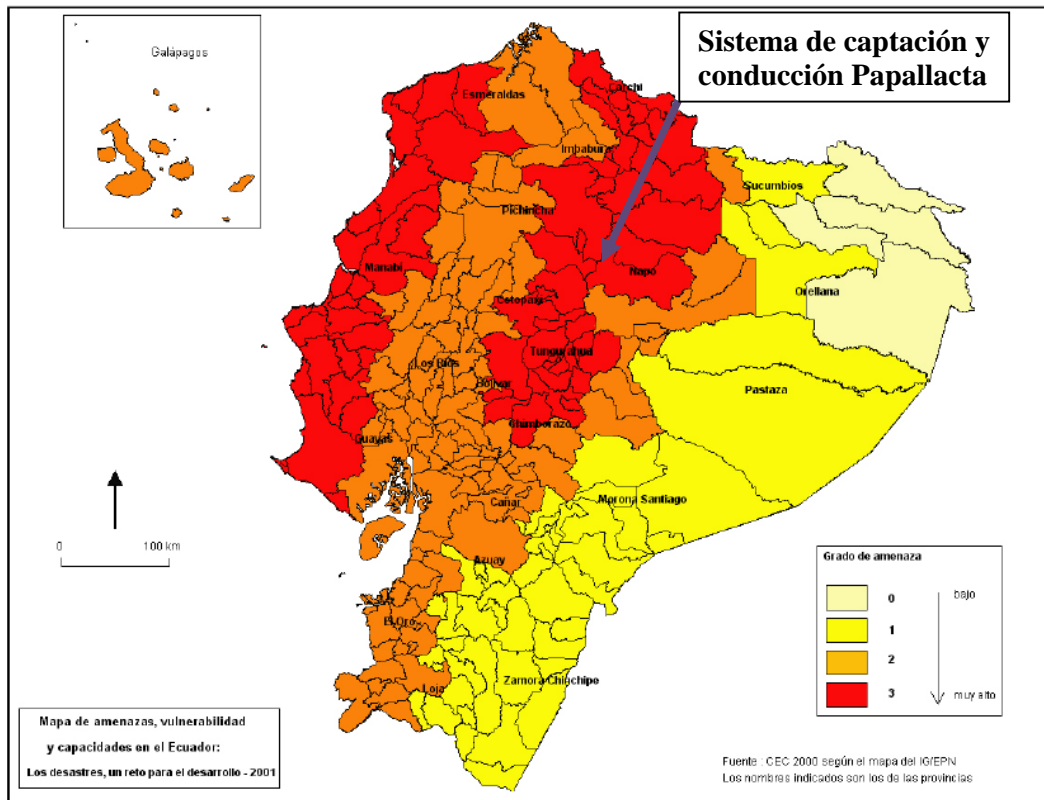
Figura 12. Zonificación del riesgo sísmico en el Ecuador



Fuente: D'Ercole y Trujillo (2003)

En el Nivel de amenaza sísmica a nivel cantonal en el Ecuador Figura 13. en la que se muestra la amenaza sísmica a nivel cantonal del Ecuador, se puede observar que para los cantones El Chaco y Quijos de la Provincia del Napo y, el Distrito Metropolitano de Quito de la Provincia de Pichincha tienen un grado muy alto de amenaza.

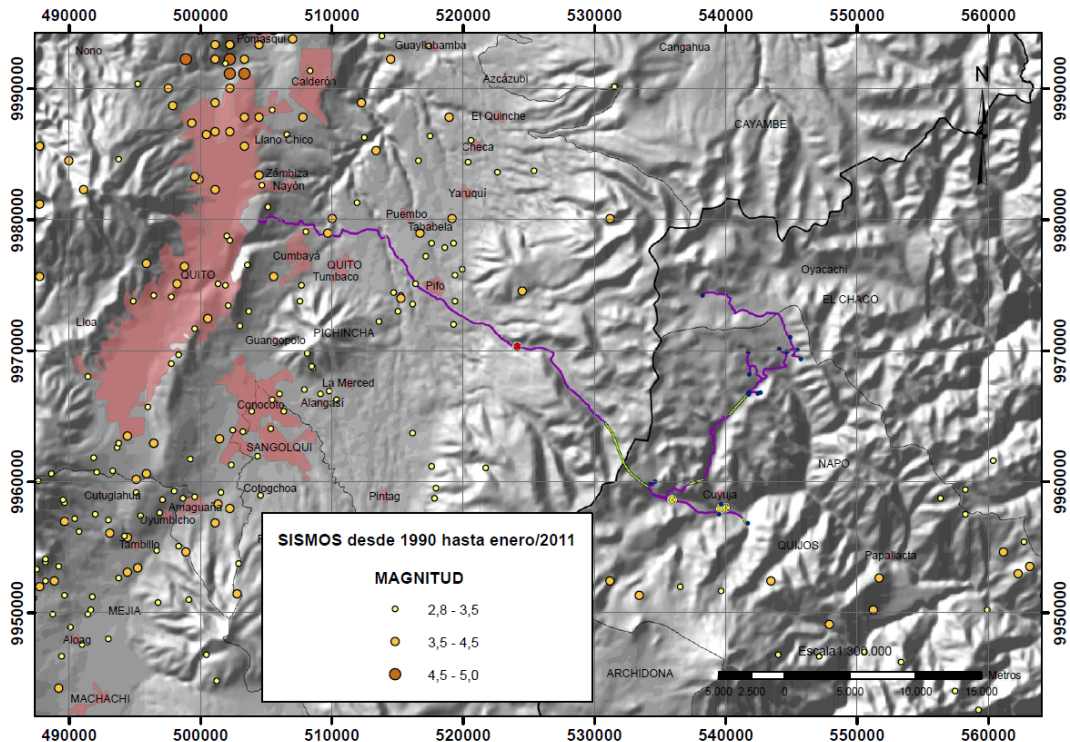
Figura 13. Nivel de amenaza sísmica a nivel cantonal en el Ecuador



Fuente: CEC 2000 según el mapa del IG/EPN

Como podemos observar en la Figura 14. que indica epicentros en los últimos veinte años no se han producidos sismos mayores a 5 grados en la escala de Richter en por lo menos 10 kilómetros alrededor del sistema de captación y conducción Papallacta. Esta es una interpretación que no considera un análisis directo en cuanto a estructuras geológicas, pues este factor es tomado en cuenta en el Mapa Preliminar de amenazas por remoción en masa explicado en el análisis de exposición ante remoción en masa (*Subcapítulo 3.1.2.3*). Por otra parte la referencia de este inventario sísmico no significa que en un futuro no puedan producirse sismos de gran magnitud en el área de estudio.

Figura 14. Sismicidad histórica desde 1990 hasta enero del 2011 con magnitudes escala de Richter



Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales
Fuente: Instituto Geofísico del Ecuador

A manera de ejemplo y de forma indicativa podemos tomar en cuenta el cuadro N° 8 el cual indica la probabilidad correspondiente a los estados de daño severos en obras de infraestructura de agua potable, en caso de producirse fuertes sismos con intensidades superiores a los VI grados según la escala de Mercalli relacionado a los efectos del sismo ocurrido en Pujilí el 28 de Marzo de 1996 en los sistemas rurales de agua potable.

Cuadro 8. Factores de daño según intensidad sísmica

Elementos	Daño en porcentaje	Intensidad Escala de Mercalli modificada				
		VI	VII	VIII	IX	X
Pozos	%	1.04	4.60	6.66	14.78	23.56
Acueductos	%	0.57	1.05	2.66	4.42	8.80
Estaciones de bombeo	%	2.35	5.85	11.73	20.74	30.77
Tanques de almacenamiento	%	1.10	4.10	6.45	10.63	24.11
Plantas de tratamiento	%	1.09	3.33	6.67	13.38	20.59
Red de conducción de agua	roturas/km	0.00	0.69	1.56	5.21	9.13

Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales

Fuente: Escuela Politécnica Nacional de Ecuador et al, 1994. Manual para la mitigación de desastres naturales en sistemas rurales de agua potable.

Aunque el limitante de información y estudios precisos de sismicidad no permite evaluar con mayor precisión los sucesos desastrosos que acarrearía un sismo de gran magnitud y extensión geográfica frente al Sistema Papallacta, pues éste también está relacionado al diseño antisísmico de las obras construidas hace aproximadamente veinte años, además de depender del mantenimiento oportuno y continuo. Por otro lado la calidad del terreno, los fenómenos desencadenantes de un terremoto inciertamente podría dar paso a una ruptura de diques o aun de la presa.

3.1.2.2. Amenazas volcánicas

Para el análisis de este tema se toma en cuenta las coberturas de los materiales expulsados producto de las erupciones volcánicas, estos son: flujos de lava, lahares, flujos y caída de piroclastos. Los fenómenos que pueden causar mayor daño a las estructuras físicas o elementos del sistema que están expuestos a los impactos de corrientes de lava, avalancha de ceniza, piedras y agua.¹⁶

Los volcanes cercanos al área de influencia son: El Reventador, Sumaco, Antisana, y aunque más lejano pero con varios estudios se comprueba la afectación a la tubería de la conducción, el volcán Cotopaxi. La caldera del Chacana no está tomada en cuenta como

¹⁶ OPS-OMS, Guías para el análisis de la vulnerabilidad. Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. Pág. 24, 1998.

amenaza siendo una gran caldera, pero de forma pasivo, debido a fenómenos ocurridos hace varios millones de años.

Volcán Sumaco podría también producir caída de ceniza al sector de Papallacta.

Volcán El Reventador provocó caída de cenizas en el sistema Papallacta evidenciado por personal en las estaciones de bombeo y captaciones en la erupción del 2002.

Volcán Antisana, puede ser el de mayor relevancia en cuanto afectación podría traer al sistema, pues éste volcán es el más cercano. Claro ejemplo son los flujos de lava y el represamiento de la Laguna Papallacta en el siglo XVIII en las erupciones de 1728 y 1760. Existe un “Mapa de peligros volcánicos potenciales asociados al volcán Antisana”¹⁷ el cual indica áreas amenazadas en caso de erupción, de mayor y menor peligro, se entiende que los límites no son exactos y están basados en fenómenos anteriores.

Volcán Cotopaxi podría ocasionar la presencia de lahares como fenómeno generado por erupción volcánica, la cual pudiese afectar la conducción del sistema Papallacta cuando ésta cruza el río San Pedro.

El siguiente cuadro revela los fenómenos ocurridos producto de las erupciones volcánicas de aquellos volcanes más cercanos y que puedan afectar a los elementos de los subsistemas.

¹⁷ EPN, Dr. Minard Hall, Bernardo Beate e Christa G, von Hillebrandt M. en 1989

Cuadro 9. Exposición de los elementos de los subsistemas frente amenazas volcánicas.

ELEMENTOS	SUBSISTEMAS	AMENAZAS VOLCÁNICAS				
		Volcán Antisana	Volcán El Reventador	Volcán Sumaco	Volcán Cotopaxi	
CAPTACIONES	Captaciones por bombeo	Subsistema I	Posible afectación parcial por: flujos de lava, lahares, flujos y caída de piroclastos.	Caída de ceniza	Posible caída de ceniza	-
	Captaciones por gravedad	Subsistema II	-	-	-	-
	Captaciones Sucus-San Juan	Subsistema III	-	Caída de ceniza	-	-
CONDUCCIONES	Conducción por bombeo	Subsistema I	Posible afectación parcial por lahares a la tubería expuesta, y caída de ceniza	Caída de ceniza	Posible caída de ceniza	-
	Conducción por gravedad	Subsistema II	-	-	-	-
	Conducción Sucus-San Juan	Subsistema III	-	Caída de ceniza	-	-
	Conducción Túnel Quito-Bellavista	Subsistema IV	-	-	-	Lahares con mayor peligro en la tubería expuesta en el río San Pedro
ESTACIONES	Elevadora, Booster 1, Booster 2	Bombeo	Posible afectación parcial por lahares a la tubería expuesta, y caída de ceniza	Caída de ceniza	-	-
	Estación Recuperadora	Energía	-	Caída de ceniza	-	-

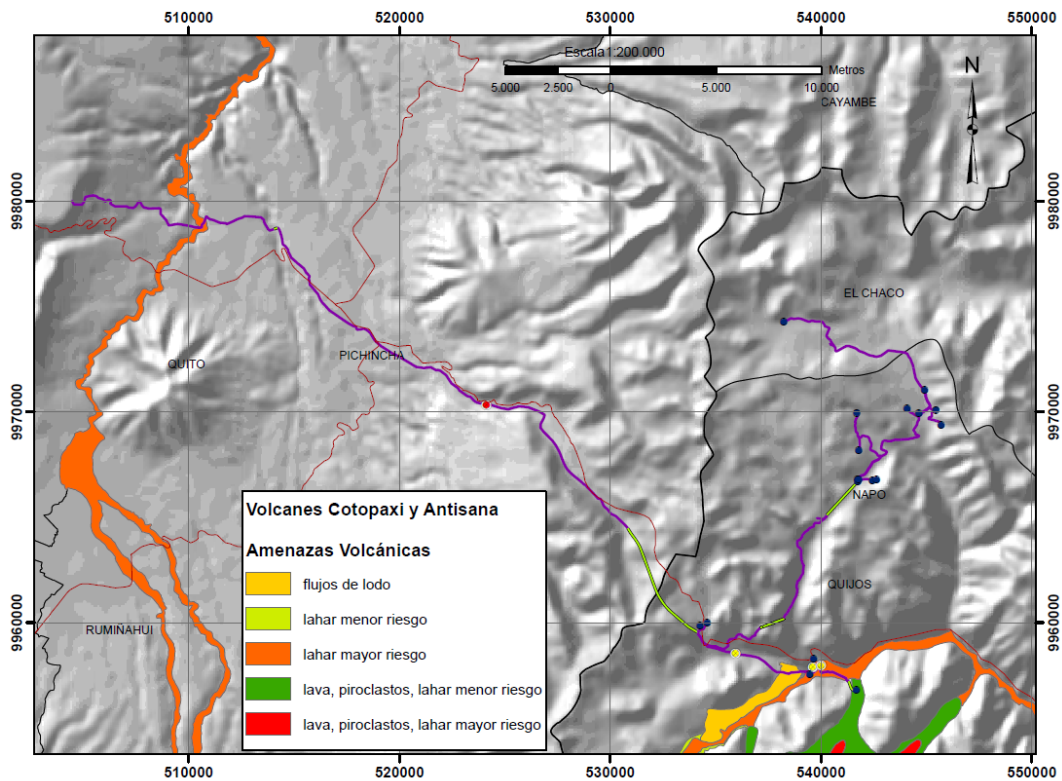
Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales, 2011.

El resultado Figura 15 muestra que en caso de una erupción del volcán Antisana, el peligro de flujos piroclásticos, flujos de lava y lahares es menor en el área de estudio, afectando a la captación Blanco Chico y parte de su tubería. Con respecto a los lahares presentan mayor peligro en el fondo de los valles y pueden afectar parcialmente a las captaciones de bombeo, conducción de bombeo y estaciones de bombeo cercanas, siendo Elevadora y Booster 1. Cabe destacar que la caída de cenizas se haría presente en las obras dentro de mayor peligro, sin embargo ésta no afecta de gran manera a la conducción y captaciones, mas si es importante estar pendiente para los casos de las estaciones de bombeo, evitando las acumulaciones de ceniza y cubriendo la pileta de agua en Elevadora.

Como resultado de la erupción del volcán Cotopaxi se determina la presencia de lahares con mayor peligro en la tubería que cruza en el río San Pedro. Sin embargo para éste

caso en específico y siendo el de más probable ocurrencia de erupción existen estudios realizados para convertir el paso subfluvial de la conducción en éste cruce, en un paso aéreo que no impacte directamente en la estructura.¹⁸

Figura 15. Exposición del sistema ante amenazas volcánicas potenciales.



Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales, 2011.

Fuente: Información de amenazas volcánicas tomadas del Departamento de Gestión Ambiental y Responsabilidad Social de la EPMAPS-Q.

3.1.2.3. Amenazas por remoción en masa

- Eventos históricos

A lo largo del tiempo de funcionamiento que lleva todo el sistema de captación y conducción Papallacta, se ha presentado un evento significativo producido el 9 de abril del 2001, produciéndose un derrumbe de grandes dimensiones, acumulación de bloques

¹⁸ Estudio de evaluación de impactos sobre la infraestructura de la EMAAP-Q y factibilidad de las obras de mitigación ante una eventual erupción del volcán Cotopaxi. Realizado en julio del 2004 por la Escuela Politécnica Nacional para la EPMAPS-Q antiguamente EMAAP-Q.

de roca, aguas turbulentas, acarreo de sedimentos, que comprometieron la toma e infraestructura de la captación Blanco Chico.¹⁹ Sin embargo se adoptó un proyecto de reparación y protección de la obra impactada. Después de este evento no se ha vuelto a producir situaciones desastrosas que paralicen el funcionamiento de ésta captación.

Según el Estudio de Impacto Ambiental Expost para el Aprovechamiento Hidroeléctrico del Sistema Papallacta I, de entre las captaciones de agua, la única que se puede considerar crítica es la obra del río Blanco Chico debido a la ubicación, condiciones y naturaleza de la roca.

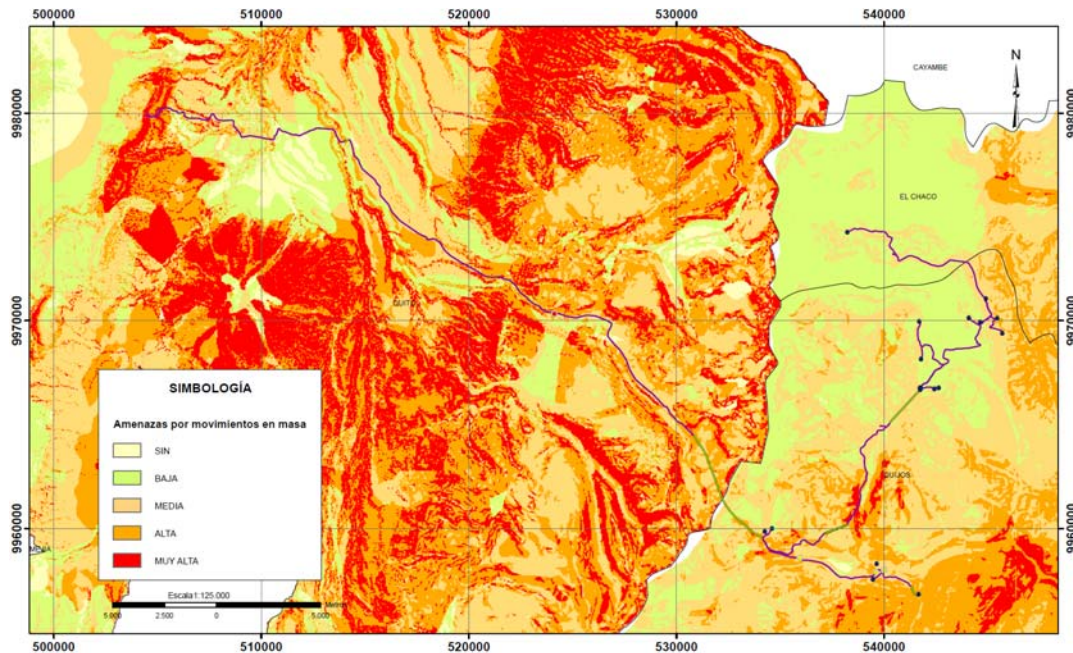
- Mapa preliminar de zonas propensas a movimientos en masa.

La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR), y con información de varias instituciones ha desarrollado mapas preliminares de amenaza a movimientos en masa e inundaciones en todo el territorio nacional, con la finalidad de en un futuro obtener mapas de Zonas Seguras.

Estos mapas consideran factores de tipo geológico estructural, hídrica, hidrogeológica, precipitaciones y uso del suelo. A través de información de pendientes, cobertura vegetal, suelos, geología, geomorfología, isoyetas y estructuras geológicas, obtenidas de prestigiosas instituciones generadoras de información. Los mapas preliminares de amenaza a movimientos en masa no tienen comprobación de campo y están generados a escala 1:50.000, para el presente análisis se considera la información de los cantones El Chaco y Quijos de la Provincia del Napo y el Distrito Metropolitano de Quito de la Provincia de Pichincha.






¹⁹ Estudio de Impacto Ambiental Expost para el Aprovechamiento Hidroeléctrico del Sistema Papallacta I, 2001.

Figura 16. Exposición del sistema ante amenazas a movimientos en masa



Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales, 2011.
Fuente: Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR)

Cuadro 10. Significado de la simbología del mapa de amenazas por movimientos en masa, escala 1:50000

Zona	Amenaza por movimientos en mas
	SIN: Espacio geográfico con características estables
	BAJA: Zonas con suelos, pendientes y geología estables aún ante fenómenos intensos y extensos como precipitación. Puede producirse soliflucción de material.
	MEDIA: Zonas con materiales muy poco o nada fracturados, con pendientes de 30 a 50 %. El material se inestabiliza tras actuaciones naturales muy intensas y/o extensas, así como a la acción de la precipitación de la zona.
	ALTA: En zonas con pendientes de 50 a 100 %. En suelos poco cohesivos y en rocas meteorizadas, fracturadas o de otro tipo de discontinuidad, acelerado por las precipitaciones de la zona.
	MUY ALTA: En zonas con pendientes >100%. En suelos no consolidados y rocas muy meteorizadas y fracturadas, acelerado por factores climáticos, sismotectónicos y antrópicos.

Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales
Fuente: SNGR, 2011.

En el Cuadro N° 11 se describe de manera general los elementos expuestos a amenazas por movimientos en masa. Es importante mencionar que el mapa no tiene control de campo y su escala a 1:50.000 no permite precisar la amenaza directa a un elemento, es decir, para el caso de las estaciones la información expuesta no revela la realidad.

En la conducción, el subsistema II tiene zonas con alta y muy alta exposición en el acueducto que llega al Túnel Baños aproximadamente 3 km al Nor-noreste del portal de entrada.

El subsistema IV de la conducción es el más largo de todos por lo cual el análisis por tramos revela que desde el paso aéreo en la quebrada Uraloma hasta Bellavista la exposición es de alta a muy alta además de los cruces en los cauces principales de los ríos Chiche y San Pedro.

Los subsistemas I que refiere a captaciones y conducción por bombeo se encuentran en zonas con media y alta exposición al igual que la conducción del subsistema III. A diferencia de las captaciones del Subsistema III Sucus - San Juan que se encuentran entre media y baja exposición a movimientos en masa.

Cuadro 11. Representación de la exposición de los subsistemas a amenazas por movimientos en masa.

ELEMENTOS		SUBSISTEMAS	Amenazas por movimientos en masa
CAPTACIONES	Captaciones por bombeo	Subsistema I	Alta Tuminguina y Blanco Chico Media Papallacta
	Captaciones por gravedad	Subsistema II	Alta Gonzalito Media el resto
	Captaciones Sucus-San Juan	Subsistema III	Media San Juan Baja Sucus
CONDUCCIONES	Conducción por bombeo	Subsistema I	Media a Alta
	Conducción por gravedad	Subsistema II	Alta y Muy Alta NNE del T. Baños Baja a Media en el resto
	Conducción Sucus-San Juan	Subsistema III	Media a Alta
	Conducción Túnel Quito-Bellavista	Subsistema IV	Tramo Túnel Quito a Recuperadora - Media y Alta. Tramo Recuperadora a Q. Corazón - Alta y Muy Alta. Tramo Q. Corazón a Río Chiche - Media. Tramo Río Chiche a Q. Uraloma - Baja y Media Tramo Q. Uraloma a Bellavista - Alta y Muy Alta
ESTACIONES	Elevadora, Booster 1, Booster 2	Bombeo	Media
	Estación Recuperadora	Energía	Alta y Muy Alta

Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales, 2011.

3.1.2.4. Amenazas de origen antrópico

En el transcurso del tiempo en el que se realizaban salidas al campo para conocer el sistema, con personal que trabaja alrededor entre 10 y 20 años para la EPMAPS-Q, a través de conversaciones sobre amenazas por actividades humanas como sabotajes, incendios y problemas de invasión sobre el área de servidumbre, se mencionó que

existieron pocos eventos que no causaron mayor impacto o menos aun la paralización y el funcionamiento normal del sistema.

Intensión de sabotaje por paro y protestas de varias personas de poblaciones orientales, sin embargo las estaciones de bombeo y puntos de interés fueron oportunamente militarizados y no sucedió ninguna paralización en el abastecimiento de agua. Exceptuando un suceso que cerró las válvulas de la captación Tuminguina alrededor de 10 años atrás por coyuntura política.

No se han registrado incendios, ni maniobras inefectivas técnicas de trascendencia alguna en los últimos años que detenga la operación en la entrega de agua cruda a la planta de tratamiento Bellavista.

La presencia del oleoducto cercano al sistema de captación y conducción es de alguna forma una especie de exposición ante una amenaza antrópica, los hechos figuran la suspensión de la captación Tuminguina producto de la contaminación producida por el derrame de hidrocarburos sobre la laguna Papallacta.

En las salidas al campo se evidenció presencia de ganado vacuno en los sitios de algunas captaciones de la optimización Papallacta dentro de la Reserva Ecológica Cayambe -Coca, debido al pastoreo de los animales de los pobladores de la comunidad de Oyacachi. Si bien es cierto esta actividad no representa una amenaza significativa para el sistema, pues es importante tomarla en cuenta pues en la captación Gonzalito se evidencio un pequeño deslizamiento superficial producto del sobrepisoteo del ganado, además de defecación en el borde de la captación Quillugsha. Estos eventos por no estar sometidos a control alguno pueden aumentar y afectar en un futuro a las captaciones, por esto es importante tomar consideraciones de protección ante el ganado vacuno en las obras de captación.

El paso de la servidumbre en el que abarca 10 m como protección al trayecto de la tubería de la conducción, se pudo evidenciar que es respetado en la mayor parte del espacio que ocupa la tubería enterrada y sus pasos elevados. Sin embargo en las parroquias de Pifo, Tumbaco y Cumbaya, en las que existen poblamientos suburbanos y urbanos, se evidencio que la tubería atraviesa conjuntos habitacionales privados, mas no

existe presencia de viviendas sobre la conducción, pero si cruza vías locales residenciales y parteres dentro de los conjuntos. Por otro lado en las salidas de campo a las cámaras de válvulas se observó que la propiedad privada es un limitante para el acceso a los desfogues específicamente en el río San Pedro, pues existe una puerta eléctrica solamente para el acceso al propietario de los terrenos e impidiendo el paso en vehículo de los trabajadores de la EPMAPS-Q exponiéndolos a caminar y al sometimiento de los perros agresivos de la propiedad. Este caso significaría una ineficiente preparación y acción en caso de necesitar desfogar el agua cruda en situación de emergencia.

3.1.3. Subsistemas por la dependencia a elementos externos

Entendemos como dependencia una capacidad funcional de un elemento externo para el desarrollo normal del sistema necesitado. El elemento externo tomado en cuenta es la energía eléctrica, pues por medio de esta se permiten procesos de transmisión de energía y por tanto la transportación de agua potable.

La energía eléctrica que alimenta al Sistema Papallacta es parte del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, del cual es abastecido desde la subestación Santa Rosa en el cantón Rumiñahui por medio de una línea trifásica de 138 kilovoltios (kv), de 12 km que alimenta a las estaciones.

La optimización está cubierta por una línea trifásico de 22,8 kv con una longitud aproximada de 24,7 km que empieza en las termas Papallacta y distribuye a los puntos de regulación de las captaciones hasta la presa Salve Faccha. Parte de esta línea que alimenta el sistema a gravedad actualmente envía energía eléctrica hacia la población de Oyacachi.

Si bien es importante entender que tramos de la tubería de conducción utiliza energía eléctrica para efectos de protección catódica de la tubería de acero contra la corrosión producida por el suelo, no se considera dependiente energéticamente para el fin que tienen la conducción de transportar agua y sobre todo en casos de emergencia donde aun podría fallar la electricidad.

En este aspecto es estudio se enfoca en conocer la necesidad de los subsistemas a la energía eléctrica, determinando cuan autónomos o dependientes a la electricidad son éstos para cumplir las funciones de captación y conducción del agua cruda.

Para maniobrar las válvulas, tomar datos de caudales remotamente ya sea desde una de las estaciones de bombeo o de la planta de tratamiento Bellavista, por medio de un sistema informático de control es indispensable la energía eléctrica. Este aspecto del sistema de control remoto será desarrollado en el siguiente subcapítulo

Cuadro 12. Dependencia de energía eléctrica por parte de los subsistemas

ELEMENTOS		SUBSISTEMAS	DEPENDENCIA A LA ENERGIA ELECTRICA
CAPTACIONES	Captaciones por bombeo	Subsistema I	Ninguna
	Captaciones por gravedad	Subsistema II	Ninguna, excepto Parcial presa Salve Faccha y diques Guaytaloma, Mogotes
	Captaciones Sucus-San Juan	Subsistema III	Ninguna
CONDUCCIONES	Conducción por bombeo	Subsistema I	Total
	Conducción por gravedad	Subsistema II	Parcial
	Conducción Sucus-San Juan	Subsistema III	Parcial
	Conducción Túnel Quito-Bellavista	Subsistema IV	Parcial
ESTACIONES	Elevadora, Booster 1, Booster 2	Bombeo	Total
	Estación Recuperadora	Energía	Total

Ninguna = cuando existe autonomía energética.

Parcial= los elementos de los subsistemas pueden funcionar con o sin energía eléctrica.

Total= cuando existe alta y total dependencia energética para que los elementos de los subsistemas funcionen en condiciones normales.

Elaborado por: Jorge Luis Proaño, 2011.

Las captaciones por ser obras construidas directamente en el lecho de un río o quebrada, captan el caudal de agua directamente debido a que esta infraestructura es constituida por compuertas manuales, sin la necesidad de utilizar energía eléctrica. De tal forma que no es necesaria la electricidad para la aducción de agua cruda, pero sí lo es para la regulación remota de caudales en algunos de los elementos del Subsistema II debido al

manejo y contención de volúmenes de agua embalsada, como son los diques Guaytaloma, Mogotes y la presa Salve Faccha.

La conducción al permitir el transporte de agua cruda cumple su función autónomamente, sin embargo la utilización de energía eléctrica en para estos subsistemas está relacionada por el paso o cierre del recurso a través de válvulas instaladas en las líneas de conducción. El subsistema I es altamente dependiente de la utilización de la energía pues mediante procesos de bombeo realizadas en las estaciones, el agua es dirigida a través de la tubería de forma antigravitatoria.

Las estaciones de bombeo son altamente dependientes a la energía eléctrica, por todo el aparataje tecnológico electromecánico necesario para el transporte del agua, además de la alta demanda energética y altos costos para cumplir sus funciones. Las estaciones de bombeo comparten sus espacios con subestaciones eléctricas que alimentan directamente de electricidad a estos elementos complejos por sus funciones y su importancia.

Es de importancia destacar que la electricidad utilizada para los subsistemas de la optimización (Subsistemas II y Subsistemas III) permiten la regulación remota de caudales por medio de actuadores y caudalímetros para medir los caudales de ingreso. En caso que fallase la energía eléctrica, estos subsistemas podrían funcionar y abastecer de agua autónomamente, simplemente se perderían datos y las regulaciones deberán tratarse manualmente.

3.1.4. Capacidad de control a los elementos de los subsistemas

La capacidad de control está asociada a la detección de fallas y la intervención efectiva a los elementos de los subsistemas a través de la accesibilidad. La accesibilidad es una dimensión de la vulnerabilidad del territorio, que desempeña un papel particular en período normal y que, en caso de crisis, puede amplificar los efectos de una catástrofe.²⁰

²⁰ D'Ercole y Metzger (2002), La Vulnerabilidad del DMQ, pág. 36

En momentos emergentes es fundamental hacer un uso eficiente y efectivo de la capacidad de control que un sistema tiene, pues debe tomarse en cuenta la tecnología a disposición a través de sus controles remotos, la vialidad y la cercanía del personal capacitado.

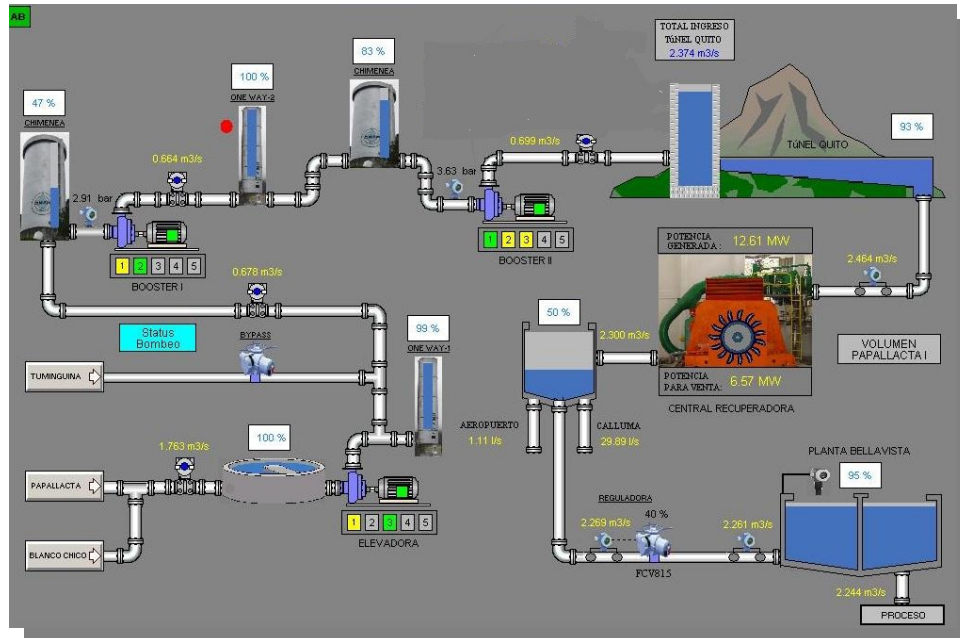
- Control remoto

El sistema Papallacta cuenta con un sistema de Control de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA) que permite la operación a través de la supervisión y control de los procesos de captación y conducción, además de la toma de datos de tal forma que sean remotamente leídos y controlados por medio de hardware y un software especializado.

Este sistema que permite el control en puntos estratégicos del sistema es operado principalmente desde la estación de bombeo Booster N°1 y también puede ser operado desde la planta de tratamiento Bellavista que son utilizados como medio de comunicación alámbricos. Se identifica éste aspecto por la importancia que tiene SCADA para el control preciso y efectivo en las captaciones y conducciones de agua. Tomando en cuenta la posibilidad de ocurrencia ante los impactos de amenazas en situaciones emergentes o desastrosas que comprometan la posibilidad y capacidad de controlar los caudales de ingreso y transporte para continuar abasteciendo a la población de Quito de agua.

A continuación se presentan gráficos en los que el sistema permite la apertura y cierre de válvulas con elementos electromecánicos que se realizan cuando el sistema lo requiere y que está directamente relacionado a la demanda de agua que requiere la población de Quito.

Figura 17. Diagrama general del sistema de bombeo Papallacta



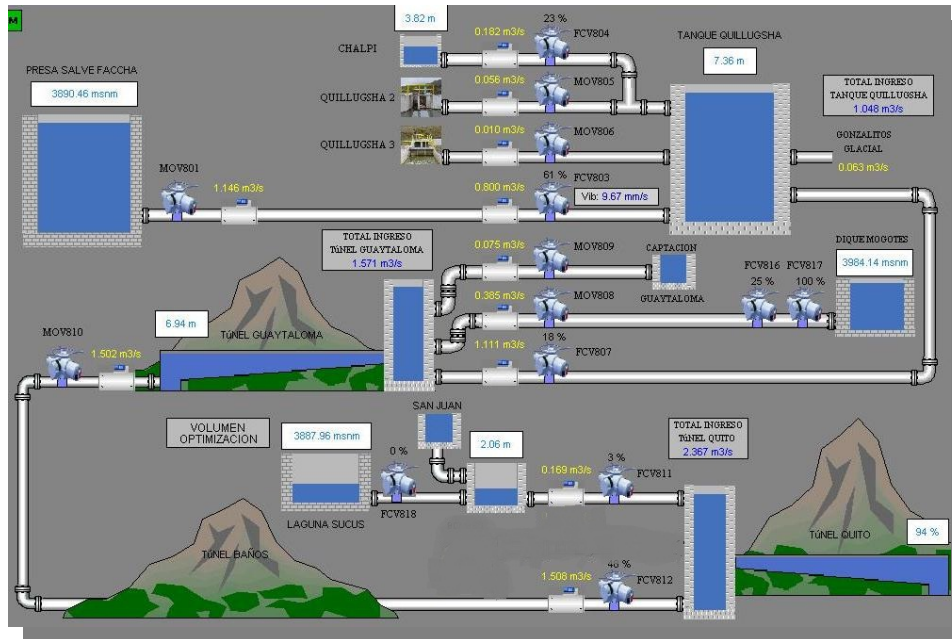
Fuente: Sistema SCADA, Departamento de Servicios Especiales, EPMAPS-Q, 2011.



Válvula con control remoto

La optimización Papallacta es altamente automatizada, con puntos de control importantes para seguridad y confiabilidad en el manejo de cada elemento, obviamente esta automatización a través de SCADA está estrechamente dependiente del abastecimiento del sistema eléctrico.

Figura 18. Diagrama general del sistema Optimización Papallacta a gravedad (SCADA)



Fuente: Sistema SCADA, Departamento de Servicios Especiales, EPMAPS-Q, 2011.

El control de operación para la regulación de caudales a través de válvulas están referidos a los subsistemas de conducción, y como podemos observar en el cuadro anterior existen sitios de control tanto para el sistema de bombeo como para gravedad. Mientras que para los subsistemas de captación existe un control parcializado pues las captaciones tienen compuertas manuales que son maniobradas por personal presente y capacitado y tan solo se pueden manipular remotamente aquellas captaciones con diques y presas que permiten la regulación del caudal. Las estaciones son operadas remotamente como se explica en el capítulo anterior.

Adicionalmente, en cuanto a la vialidad, por medio de la presencia de vías que permitan el acceso o control como respuesta y capacidad ante crisis que puedan manifestarse en situaciones emergentes, se puede precisar que todos los subsistemas están cubiertos por vialidad de distinto orden.

La vialidad en si es un aspecto limitado al poder describirlo y analizarlo, puesto que no existe una cartografía actualizada en cuanto a cobertura vial en fin de poder determinar espacios de difícil acceso. Sin embargo por conocimiento particular y salidas al campo

se pudo observar que en cuanto a los subsistemas de captaciones existe acceso vial a excepción de la captación Glaciar del subsistema II.

Las estaciones de bombeo tienen total acceso vial debido a su importancia y cercanía al centro poblado de Papallacta. Mientras que los subsistemas de la conducción son los de menor cobertura vial pues si en algunos casos el acueducto sigue paralelamente la vía, en otras es difícil precisar su dirección por atravesar túneles y más aun el Subsistema IV en la que la mayor parte de la tubería es enterrada y recorre grandes extensiones de zonas despobladas además de sectores poblados residenciales en las parroquias de Tumbaco y Cumbaya.

3.1.5. Alternativas de funcionamiento

Las alternativas de funcionamiento permiten identificar a los subsistemas que son capaces de suplantar parcialmente a otro subsistema con fallo. Entiendo que aquel subsistema sin alternativa es más vulnerable que aquel que la tiene.

Con motivo de mantener la continuidad del abastecimiento normal de agua potable, se determinan las alternativas que den paso al funcionamiento del sistema aun si alguno de los subsistemas o elementos llegara a fallar en casos de crisis.

En el cuadro N° 13 se observa los subsistemas de captaciones tienen alternativas de funcionamiento, cualquiera que falle por cualquier motivo y especialmente aquellos que reciben el impacto directo de amenazas, tiene como subsistema alternativo a los otros dos. Y en caso que fallaran dos subsistemas, aun así existirá un subsistema alternativo. Sin embargo cabe mencionar que los subsistemas alternos y dependiendo el caso no garantizarían el caudal total de aporte del subsistema fallido.

Para el caso de las conducciones se da el mismo caso que las captaciones, a excepción del subsistema IV, pues en éste convergen todos los subsistemas para de manera lineal transportar todo el caudal captado hacia la planta de tratamiento. Este subsistema es el más vulnerable en cuanto a su capacidad de tener una alternativa de funcionamiento.

Cuadro 13. Alternativas de funcionamiento para cada subsistema

ELEMENTOS		SUBSISTEMAS	ALTERNATIVAS DE FUNCIONAMIENTO		Subsistema alternativo
			Existencia	Ausencia	
CAPTACIONES	Captaciones por bombeo	Subsistema I	√	-	Subsistema II y Subsistema III
	Captaciones por gravedad	Subsistema II	√	-	Subsistema I y Subsistema III
	Captaciones Sucus-San Juan	Subsistema III	√	-	Subsistema I y Subsistema II
CONDUCCIONES	Conducción por bombeo	Subsistema I	√	-	Subsistema II y Subsistema III
	Conducción por gravedad	Subsistema II	√	-	Subsistema I y Subsistema III
	Conducción Sucus-San Juan	Subsistema III	√	-	Subsistema I y Subsistema II
	Conducción Túnel Quito-Bellavista	Subsistema IV	-	√	-
ESTACIONES	Elevadora, Booster 1, Booster 2	Bombeo	-	√	-
	Estación Recuperadora	Energía	-	√	-

Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales, 2011.

3.1.6. Análisis del manejo de la crisis del Sistema de captación y conducción Papallacta

El manejo de la crisis está ligado a la información y nivel de preparación de un sistema, entendiéndola como la sumatoria de las capacidades que permite controlar y operar normalmente el funcionamiento de las captaciones y conducción en condiciones adversas. Este análisis tiene relación directa acerca de los planes disponibles, el manejo del conocimiento, difusión de la información para la gestión del riesgo en situaciones emergentes.

El personal del departamento de Servicios Especiales de la EPMAPS-Q es el encargado de la operación y gestión del mantenimiento y funcionamiento del sistema de captación y conducción Papallacta. La información de estudios debe estar centralizada en este equipo de trabajo y el manejo del conocimiento para el control en situaciones de crisis

debe ser distribuida a cada trabajador, pues entre más difundida se encuentre la información menos vulnerable es la operación y capacidad de respuesta.

- Planes y procedimientos

A nivel institucional, la EPMAPS-Q ha emprendido con un procedimiento para dar respuesta inmediata en el manejo de emergencias en los sistemas de agua potable y alcantarillado, el cual tiene por objeto, los pasos a seguir cuando se susciten emergencias. Éste documento considera un Comité Operativo de Emergencias (COE), Puesto de Mando Unificado (PMU) además de fondos rotativos para cumplir con las notificaciones de emergencia, la actuación durante y después de la emergencia y las respectivas disposiciones de seguridad.

El departamento de Servicios Especiales cuenta con un manual de operación y mantenimiento del sistema de optimización del sistema Papallacta, el cual indica cómo actuar remotamente para detener la conducción de agua en casos de emergencia o necesidad, mantenimientos de tuberías en acero, captaciones, diques, presas, válvulas, sistema eléctrico, instrumentos, normas de seguridad entre otras, además de la generación de reportes de información.

En un estudio anterior se menciona que la institución si bien cuenta con un Plan de contingencia adscrito para emergencias y desastres volcánicos a nivel global, carece de seguimiento y de aplicabilidad para cada uno de los elementos importantes del sistema y para cada una de las Direcciones y Jefaturas.²¹ Actualmente no existen avances en la premisa anterior, pues si existe en verdad un Plan de contingencias para una erupción del Cotopaxi para el accionar por parte de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito en colaboración con las respectivas instituciones de socorro, sin embargo éste no ha sido totalmente difundido entre los trabajadores del departamento de Servicios Especiales.

²¹ El sistema de agua potable del DMQ y sus escenarios de riesgo volcánico, desarrollado por Estacio en el 2003. Además de mencionar que cada elemento requiere un plan específico de contingencia, debido a sus características particulares que demandan un seguimiento y prevención por separado. Pág. 158

- Simulacros

En cuanto a simulacros, como herramienta para evaluar la capacidad de respuesta ante algún evento catastrófico, no se han simulado situaciones experimentales de emergencias sobre ningún tipo de amenaza natural o hipótesis de desastre para ninguno de los subsistemas del sistema de captación y conducción Papallacta.

- Comunicaciones

Las comunicaciones permiten mejorar el rendimiento en el proceso de todo el sistema, además de la visualización y supervisión efectiva mediante medios de comunicación de voz por telefonía y enlaces de radio. Además existen módems que son utilizados como medios de comunicación sobre todo en el sistema de bombeo.

3.2. Vulnerabilidad

A partir de los análisis de las distintas fases de vulnerabilidad de este capítulo, se ha plasmado la información en la matriz dividida en **debilidades** las cuales son: Vulnerabilidad Intrínseca, Exposición ante amenazas, Dependencia a elementos externos y, **capacidades** como: Capacidad de Control, Alternativas de funcionamiento y Manejo de la Crisis.

Cuadro 14. Tabla Matriz de vulnerabilidad según capacidades y debilidades de los subsistemas

ELEMENTOS	SUBSISTEMAS	DEBILIDADES											CAPACIDADES					
		Vulnerabilidad Intrínseca				Exposición ante Amenazas							Dependencia a elementos externos	Capacidad de control	Alternativas de Funcionamiento		Manejo de Crisis	
CAPTACIONES		Caudal	Antigüedad (Años)	Mantenimiento	Material	Volcánicas (fenómenos)				Sísmico	Remoción en masa	Energía eléctrica	Control Remoto por SCADA	Existencia / Ausencia	Subsistema Alterno	Comunicación	Planes y procedimientos	Simulacros
						Volcán Antisana	Volcán El Reventador	Volcán Sumaco	Volcán Cotopaxi									
Captaciones por bombeo	Subsistema I	0,8 m³/s	21	1 vez por semana	Hormigón armado	Posible afectación parcial por: flujos de lava, lahares, flujos y caída de piroclastos.	Caída de ceniza	Posible caída de ceniza	-	Mayor peligro	Media - Alta	Ninguna	-	Existencia	Subsistema II y Subsistema III	√	√	-
Captaciones por gravedad	Subsistema II	1,3 m³/s	11	Captaciones 1 vez por semana y, Diques 1 vez c/ 2 meses	Hormigón armado	-	-	-	-	Mayor peligro	Media - Alta	Ninguna, excepto Parcial presa Salve Faccha y diques Guaytaloma, Mogotes	Parcial	Existencia	Subsistema I y Subsistema III	√	√	-
Captaciones Sucus-San Juan	Subsistema III	0,3 m³/s	17	1 vez por semana	Hormigón armado	-	Caída de ceniza	-	-	Mayor peligro	Baja - Media	Ninguna	Parcial	Existencia	Subsistema I y Subsistema II	√	√	-
CONDUCCIONES		Kilometraje	Años	Diámetro	Material	Volcán Antisana	Volcán El Reventador	Volcán Sumaco	Volcán Cotopaxi	Sísmico	Remoción en masa	Energía eléctrica	Control Remoto	Existencia / Ausencia	Subsistema Alterno	Comunicación	Planes y procedimientos	Simulacros
Conducción por bombeo	Subsistema I	4,4 km.	21	48"	Acero	Posible afectación parcial por lahares a la tubería expuesta, y caída de ceniza	Caída de ceniza	Posible caída de ceniza	-	Mayor peligro	Media - Alta	Total	√	Existencia	Subsistema II y Subsistema III	√	√	-
Conducción por gravedad	Subsistema II	Acero 26km. PVC 2,4 km.	11	Acero 24", 28" y 48" PVC 14"	Acero y PVC	-	-	-	-	Mayor peligro	Alta - Muy Alta	Parcial	√	Existencia	Subsistema I y Subsistema III	√	√	-
Conducción Sucus-San Juan	Subsistema III	0,45 km.	17	18" y 20"	Acero	-	Caída de ceniza	-	-	Mayor peligro	Media - Alta	Parcial	√	Existencia	Subsistema I y Subsistema II	√	√	-
Conducción Túnel Quito-Bellavista	Subsistema IV	35,5 km.	21	48"	Acero	-	-	-	Lahares con mayor peligro en la tubería expuesta en el río San Pedro	Mayor peligro	Baja - Muy Alta	Parcial	√	Ausencia	-	√	√	-
ESTACIONES		NO APLICA	Años	NO APLICA		Volcán Antisana	Volcán El Reventador	Volcán Sumaco	Volcán Cotopaxi	Sísmico	Remoción en masa	Energía eléctrica	Control Remoto	Existencia / Ausencia	Subsistema Alterno	Comunicación	Planes y procedimientos	Simulacros
Elevadora, Booster 1, Booster 2	Bombeo		21			Posible afectación parcial por lahares a la tubería expuesta, y caída de ceniza	Caída de ceniza	-	-	Mayor peligro	Media	Total	√	Ausencia	-	√	√	-
Estación Recuperadora	Energía		20			-	Caída de ceniza	-	-	Mayor peligro	Alta - Muy Alta	Total	√	Ausencia	-	√	√	-

Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales, 2011.

3.2.1. Vulnerabilidad de los Subsistemas

Los resultados de la vulnerabilidad se basan en la síntesis de las descripciones y análisis realizados en el capítulo anterior, aplicados a los subsistemas a fin de entender las debilidades y capacidades que tienen los conjuntos de elementos importantes que comparten algo en común para su funcionamiento. Es importante destacar que no existen experiencias de crisis, como simulacros las cuales permitan analizar de una manera más real a cada uno de los subsistemas o más aun de todo el sistema de captación y conducción.

Las debilidades fundamentadas en aspectos internos y externos que impidan la eficiencia en el abastecimiento de agua pudiendo causar la paralización parcial o completa del sistema de captación y conducción. Mientras las capacidades son los recursos, las aptitudes y la preparación de los componentes para desempeñar las tareas de aducción y transporte del recurso.

- Vulnerabilidad Captaciones Subsistema I:

Este subsistema tiene la capacidad de captar grandes caudales, siendo el más antiguo de los subsistemas es el que más afectación podría tener si nos referimos a un escenario de riesgo volcánico por los impactos de una erupción del Volcán Antisana. Sus captaciones son las más a cercanas al centro poblado Papallacta, además de no depender de energía eléctrica para cumplir con su funcionamiento.

Sus capacidades son mayores a sus debilidades, pues éste subsistema es prácticamente un subsistema auxiliar o alternativo necesario generalmente en épocas secas y de mayor demanda de la población del DMQ.

- Vulnerabilidad Captaciones Subsistema II:

Es el más representativo de los subsistemas de captación, debido a la capacidad de manejo de caudal, es reciente con apenas 11 años de vida útil. Su exposición ante amenazas es baja, además de tener varios ramales de captaciones inter y externamente alternos.

Por poseer las capacidades de controlar el subsistema remotamente, dependencia parcial de energía eléctrica, personal presente y con comunicaciones. Este subsistema **supera las capacidades a las debilidades del mismo.**

- Vulnerabilidad Captaciones Subsistema III:

El subsistema Sucus - San Juan por ser parte del sistema a bombeo, es un subsistema estratégico, pues mantiene un gran caudal embalsado de su laguna natural del Sucus a pesar de no aportar altamente frente a otros.

Las debilidades son mínimas, como la exposición mínima a amenazas naturales y sus capacidades mayores, especialmente por las alternativas de funcionamiento, pues los otros subsistemas alternos aproximadamente triplican el manejo en cuanto a caudales de agua para enviarlos a la planta de tratamiento.

- Vulnerabilidad Conducciones Subsistema I:

Las tuberías pueden manejar grandes volúmenes de agua que son parte del sistema de bombeo que es el más antiguo. Ante escenarios de riesgos volcánicos, parte del acueducto estaría expuesto a afectaciones por lahares del volcán Antisana, y no se han realizado simulacros para estar preparados ante algún tipo de amenaza. La dependencia por energía eléctrica es total, pues sin ésta sería imposible impulsar el agua que conduce este subsistema.

Si bien, existen subsistemas alternos que puedan reemplazar a la conducción, y la coordinación en el control con personal de trabajo muy cercano al área, por otro lado la dependencia total por la electricidad, interpretativamente hacen que **las debilidades estén en igual de condiciones ante las capacidades.**

- Vulnerabilidad Conducciones Subsistema II:

La conducción a gravedad con varios ramales interconectado, manejando grandes volúmenes de caudales, sometidos a la exposición de mayor peligro e incierta del riesgo sísmico con una dependencia parcial por la energía eléctrica para el control y regulación remota. Además de contar con buena comunicación, manuales de acción en casos de emergencia y alternativas de funcionamiento convierte a este subsistema relacionamente con **mayores capacidades ante las debilidades.**

- Vulnerabilidad Conducciones Subsistema III:

Es el más pequeño de los subsistemas de conducción transportando agua por unos cientos de metros, en el que esos espacios no se encuentran expuestos a amenazas, mientras que si existen capacidades como subsistemas alternos que puedan suplantarlos, y el control remoto a través de la dependencia parcial de energía. Se entiende que **las capacidades superan a las debilidades de este subsistema.**

- Vulnerabilidad Conducciones Subsistema IV:

Es el subsistema de más recorrido, transportando agua de la cual convergen todos los sistemas de captación y conducción, atravesando cantones desde hace 21 años. Donde la mayor parte de la tubería está enterrada y aun así está expuesta al impacto de lahares por erupción del volcán Cotopaxi, ciertos tramos tienen exposición muy alta a movimientos en masa, además del incierto alto peligro sísmico. Sus capacidades son bastante limitadas por el hecho de no existir una alternativa en caso que la única tubería que lleva todo el caudal no cumpliera con su funcionamiento.

Este subsistema debe tener especial atención por ser un único e importante para alimentar la planta de tratamiento de la cual los quiteños requieren del agua potable para vivir y desenvolverse. Sin embargo éste mismo subsistema muestra claramente que **las debilidades superan a las capacidades haciéndola altamente vulnerable.**

- Vulnerabilidad de las estaciones de bombeo:

Por ser tres estaciones que trabajan en conjunto para cumplir su función, además de operar a otros subsistemas, sus debilidades están configuradas ante un escenario de una erupción del volcán Antisana con impacto de lahares cercanos a sus espacios, y afectados por la caída de ceniza por erupción del volcán El Reventador, además de ser totalmente dependientes a elementos externos, este **subsistema interpretativamente contiene debilidades que pueden ser enfrentadas con sus capacidades**, pues sus capacidades están sujetas a la buena comunicación y el nivel de preparación ante crisis por la recurrencia de personal calificado a las estaciones.

- Vulnerabilidad de la estación de energía:

La función principal de ésta estación es la de generar energía eléctrica aprovechando la fuerza con la que el agua se moviliza, sin embargo también permite de romper la alta presión con la que llega el caudal.

Si la estación llegase a paralizarse por motivos de caída de ceniza por erupción volcánica del volcán Reventador u otro, el caudal puede continuar a través de un bypass aun independientemente de la falta de electricidad. Por tales razones **las debilidades frente a las capacidades son similares** aun sin haber alternativas de funcionamiento, pues existe personal capacitado y buenas comunicación con planes de manejo. La exposición muy alta según el mapa de amenazas por movimientos en masa no revela la realidad del espacio en el que se encuentra la estación.

3.2.2. *Vulnerabilidad Total*

La vulnerabilidad total analizada y representada es el resultado de sintetizar debilidades frente a capacidades, categorizando a cada subsistema en función que “Si las capacidades superan a las debilidades, la vulnerabilidad es baja; Si las capacidades son iguales a las capacidades, la vulnerabilidad es media; Si las capacidades son menores a las debilidades, la vulnerabilidad es alta. De tal forma:

- ✓ Debilidades < Capacidades → Vulnerabilidad Baja
- ✓ Debilidades = Capacidades → Vulnerabilidad Media
- ✓ Debilidades > Capacidades → Vulnerabilidad Alta

En la Figura 19 se muestra que el subsistema IV de conducción (Túnel Quito a Bellavista) es de alta vulnerabilidad, pues no tiene alternativa en caso de falla y maneja todo el caudal captado frente a las capacidades limitadas a lo largo del recorrido del espacio físico que atraviesa dos provincias, dos cantones y 7 parroquias.

Las estaciones de bombeo y el subsistema I de conducción se consideran con vulnerabilidad media, por la evaluación y referencia de igualdad entre las debilidades y capacidades consideradas y expuestas en la vulnerabilidad por subsistemas.

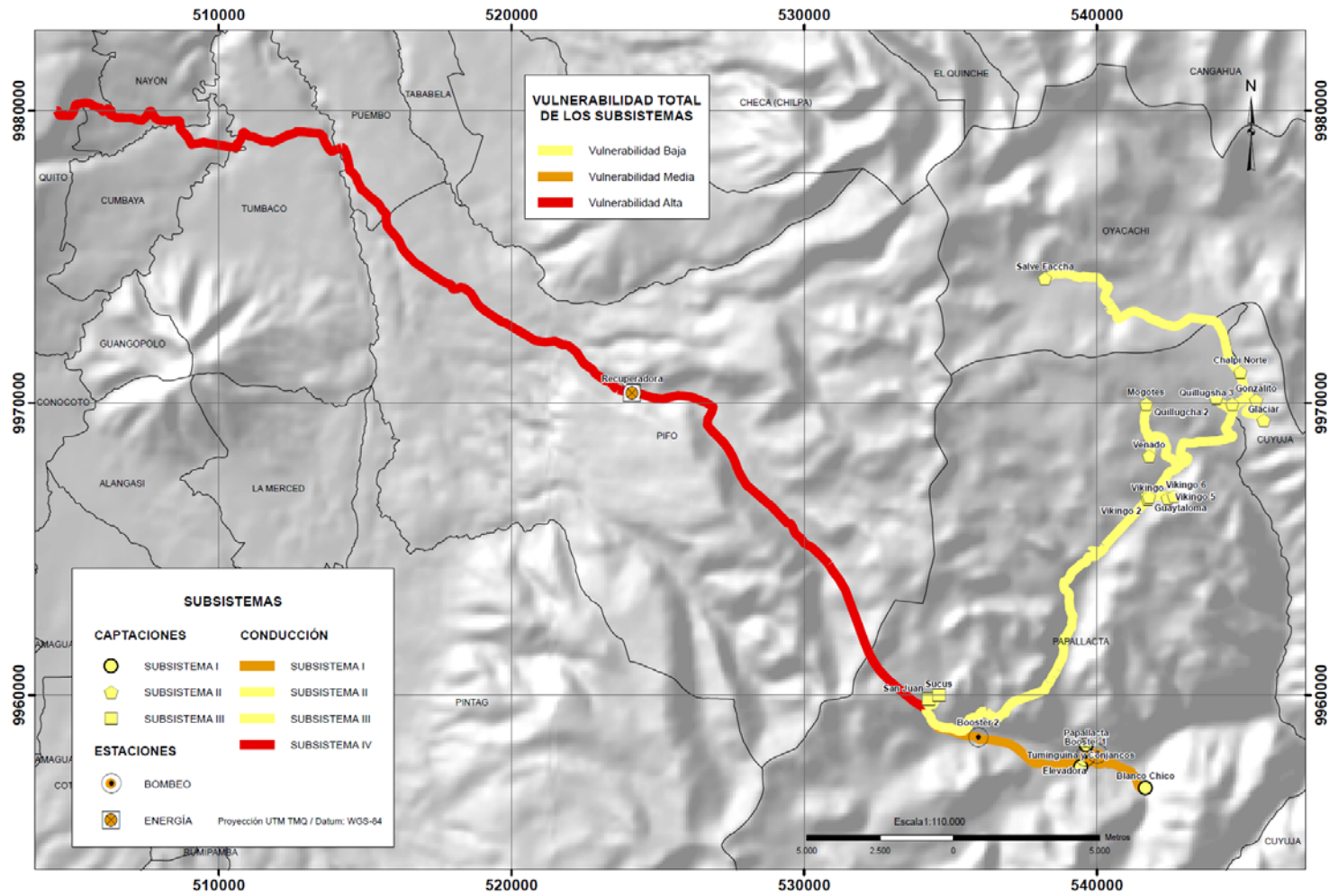
Como podemos observar en el cuadro 15 todos los subsistemas de captación, los subsistemas II y III de conducción reflejan vulnerabilidad baja y se debe mayormente a las opciones y alternativas de funcionamiento que tienen, pues de esta manera el requerimiento de agua para el DMQ no se verá afectado en su totalidad si alguno o algunos de estos subsistemas dejaran de funcionar normalmente.

Cuadro 15. Vulnerabilidad total de los subsistemas

ELEMENTOS		SUBSISTEMAS	VULNERABILIDAD	
			Debilidades vs. Capacidades	Vulnerabilidad Total
CAPTACIONES	Captaciones por bombeo	Subsistema I	Debilidades < Capacidades	Vulnerabilidad Baja
	Captaciones por gravedad	Subsistema II	Debilidades < Capacidades	Vulnerabilidad Baja
	Captaciones Sucus-San Juan	Subsistema III	Debilidades < Capacidades	Vulnerabilidad Baja
CONDUCCIONES	Conducción por bombeo	Subsistema I	Debilidades = Capacidades	Vulnerabilidad Media
	Conducción por gravedad	Subsistema II	Debilidades < Capacidades	Vulnerabilidad Baja
	Conducción Sucus-San Juan	Subsistema III	Debilidades < Capacidades	Vulnerabilidad Baja
	Conducción Túnel Quito-Bellavista	Subsistema IV	Debilidades > Capacidades	Vulnerabilidad Alta
ESTACIONES	Elevadora, Booster 1, Booster 2	Bombeo	Debilidades = Capacidades	Vulnerabilidad Media
	Estación Recuperadora	Energía	Debilidades = Capacidades	Vulnerabilidad Media

Elaborado por: Jorge Luis Proaño Morales, 2011.

Figura 19. Resultado de la Vulnerabilidad total del Sistema de captación y conducción Papallacta de agua potable del DMQ



CONCLUSIONES GENERALES

La vulnerabilidad puede ser analizada desde múltiples perspectivas y metodologías, sin embargo el conocimiento, la preparación, la aplicación de medidas preventivas y correctivas, permiten disminuir al mínimo el riesgo; el mismo que por sus efectos desastrosos podría causar el desabastecimiento de agua cruda y potable del que dependen los habitantes del DMQ encontrándose en circunstancias normales o aun más en situaciones críticas de orden local o regional.

La identificación de los elementos importantes de un subsistema son claves a la hora de entender los componentes del engranaje sistemático, además de la realización de un adecuado análisis que permita aumentar las capacidades de protección y de respuesta para el funcionamiento general del sistema.

Los fenómenos potencialmente destructores pueden pasar desapercibidos por el desconocimiento o el inadecuado manejo de la información. En efecto, existe información generada para el DMQ, pero no traspasa los límites espaciales en los cuales se encuentran los sistemas de captación y conducción. Esto se traduce al limitado uso que se puede dar a la información, a más de encontrarse dispersa por distintas instituciones y la debilidad de la EPMAPS-Q para generar Sistemas de Información Geográfica que concentren la información organizada e integrada para el aprovechamiento de estudios en cuanto a riesgos se refiere.

La información cartográfica digital del Sistema de Captación y Conducción Papallacta se encuentra dispersa, desactualizada y sin una apropiada georeferenciación, aquella que se presenta en los mapas de ésta disertación ha sido modificada considerando las visitas de campo sin precisos puntos de control.

El avance de la tecnología ha permitido controlar y operar funciones desde lugares remotos, como lo es el sistema SCADA, sin embargo es necesaria la presencia de personal en sitios oportunos para un mayor control en casos de dependencia energética. El nivel de preparación del personal es limitado por la escasa difusión del funcionamiento integral del sistema.

RECOMENDACIONES

Realizar estudios detallados de vulnerabilidad, en los cuales se estimen factores locales de las actividades causadas por el ser humano y de amenazas de origen natural que puedan afectar a los elementos importantes.

Integrar la información de riesgos por medio de un sistema de información geográfica que plasmen los resultados en mapas, con el objeto de entender las posibles consecuencias, de tal manera que se puedan tomar decisiones y acciones para disminuir los efectos de eventos desastrosos provocados por los fenómenos potencialmente destructores.

Considerar alternativas de funcionamiento para el subsistema con alta vulnerabilidad, pudiendo aprovechar la interconexión con futuros sistemas de captación y conducción que puedan construirse a través del Proyecto de Ríos Orientales.

Realizar simulacros para todo el sistema de captación y conducción, especialmente con el subsistema IV de la conducción del presente estudio, de tal forma que se pueda experimentar y evaluar la capacidad de respuesta en caso de rupturas o fallas en la conducción, con el objeto de estar preparados ante situaciones emergentes, reduciendo la vulnerabilidad y por ende la reducción de desastres, que pudiesen ser transmitidos a la población del Distrito Metropolitano de Quito.

Difundir continuamente los resultados de los planes de contingencia, planes de emergencia, estudios de vulnerabilidad y riesgos, a fin de aumentar el nivel de preparación ante situaciones críticas para obtener respuestas efectivas y eficaces del trabajo en equipo entre autoridades, técnicos, trabajadores, etc.

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

- D'ERCOLE Robert, METZGER Pascale (2004): La Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito, Colecciones Quito Metropolitano, MDMQ, IRD. Quito Ecuador.
- ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, (2004): Estudio de evaluación de impactos sobre la infraestructura de la EMAAP-Q y factibilidad de las obras de mitigación ante una eventual erupción del volcán Cotopaxi. Quito – Ecuador.
- ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, (2005): Análisis de riesgo y estudio de factibilidad de las obras. Quito – Ecuador.
- EMAAP-Q. (2001): Estudio de Impacto Ambiental Expost para el aprovechamiento hidroeléctrico del sistema. Quito Ecuador.
- EMAAP-Q. (2002): Informe Ejecutivo de las acciones desarrolladas por la por erupción del Reventador. Quito Ecuador.
- EMAAP-Q, COMINTRAC y OTRAS EMPRESAS. (2003): Manual de operación y mantenimiento. Optimización Papallacta. Quito Ecuador.
- EMAAP, (2006): Plan de Manejo Ambiental Sistema de abastecimiento de agua Papallacta.
- EMAAP, (2001): Plan Integral de Mitigación de Riesgos y Atención de Emergencias, Gerencia de Operación y Mantenimiento, Quito Ecuador. frente a una potencial erupción del volcán Cotopaxi.
- EMAAP-Q. (1999): Plan Maestro de Agua Potable para Quito TAHAL Consulting engineers Ltd, IDCO Consultores. Quito - Ecuador.
- ESTACIO, J. (2003): El sistema de agua potable del DMQ y sus escenarios de riesgo volcánico: Caso de volcanes Cotopaxi y Guagua Pichincha. Tesis de Ingeniería. Biblioteca-PUCE, Quito.
- HALL, M. (2000): Los terremotos del Ecuador del 5 de Marzo de 1987, deslizamientos y sus efectos socioeconómicos, Estudios de Geografía, Volumen 9. Quito Ecuador.
- IPCC. (2007): Impacto, Adaptación y Vulnerabilidad. OMM.
- INGEOMINAS, CVC (2001): Evaluación de riesgos por fenómenos de remoción en masa, Guía metodológica. Bogotá, Colombia.
- OPS-OMS (1998): Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario, Guías para el análisis de vulnerabilidad. Washington D.C. - USA.

- PLAZA G., YEPEZ H. (1998), Manual para la mitigación de desastres naturales en sistemas rurales de agua potable; Ecuador, EPN- OPS, Quito. Ecuador.
- REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA, (1999). Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española. Madrid: Espasa Calpe.
- SALAZAR, D. (2008): Percepción de amenazas y riesgos de la población del Valle de los Chillos (Ecuador) frente a una potencial erupción del volcán Cotopaxi
- SERRANO, T. (2004): Análisis de la reducción de la vulnerabilidad en el Distrito Metropolitano de Quito. Quito – Ecuador.

Páginas Web:

- BIBLIOTECA VIRTUAL DE SALÚD Y DESASTRES: Lecciones aprendidas sobre los efectos de las erupciones volcánicas en el Ecuador, en los Sistemas de agua potable y alcantarillado
Rev.: 28.03.2011. En: <http://helid.digicollection.org/es/d/Js8247s/6.1.2.html>
- ESTRATEGIA INTERNACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES: Extracto informe de la conferencia mundial sobre la reducción de los desastres
Rev.:15.05.2011.
En: <http://www.unisdr.org/eng/hfa/docs/Hyogo-framework-for-action-spanish.pdf>
- UNICEF: Alcanzar los ODM en materia de agua potable saneamiento
Rev.: 01.04.2011. En:
http://www.unicef.org/spanish/publications/files/39108_Span.pdf
- UNISDR: Terminología sobre reducción del riesgo de desastres
Rev.: 02.06.2011
<http://www.unisdr.org/eng/terminology/UNISDR-Terminology-Spanish.pdf>

Software utilizado:

- ARCMAP 9.3 propiedad de Environmental System Research Institute Inc.

Siglas:

COE: Centro de Operaciones de Emergencia

DMQ: Distrito Metropolitano de Quito

EEQ : Empresa Eléctrica Quito

EMAAP Empresa metropolitana de alcantarillado y agua potable

EPMAPS-Q : Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento - Quito
(antes EMAAP)

EPN: Escuela Politécnica Nacional-Ecuador

OCP: Oleductos de crudos pesados

ODM: Objetivos de Desarrollo del Milenio

OMS: Organización mundial de la salud

OPS: Organización Panamericana de la salud

PVC: Policloruro de Vinilo

PMU: Puesto de mando unificado

RECA Y: Reserva Ecológica Cayambe - Coca

SCADA: Sistema de Control de Supervisión y Adquisición de Datos

SIG: Sistemas de Información Geográfica

SNGR: Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos

UNISDR: United Nations International Strategy for Disaster Reduction

UEPRO: Unidad Ejecutora de Proyectos de Ríos Orientales

ANEXOS

Anexo 1. Resumen fotográfico, fotos capturadas por el autor entre Agosto y Septiembre del 2011.

Captación Blanco Chico



Captación Papallacta



Captación Tuminguína



Captación Sucus



Dique Sucus



Captación San Juan



Salve Faccha



Captación Chalpi norte



Chalpi, deslizamiento



Captación Gonzalito, sin caudal ecológico



Captación Gonzalito, deslizamiento



C. Gonzalito, sobrepisoteo de ganado



Captación Quillugsha 2



C. Quillugsha 2, sin caudal ecológico



Captación Quillugsha3, deslizamiento



Capitación Mogotes



Captación Guaytaloma



C. Guaytaloma, sin caudal ecológico



Estación Túnel Quito, convergencia de los subsistemas



Captación Venado



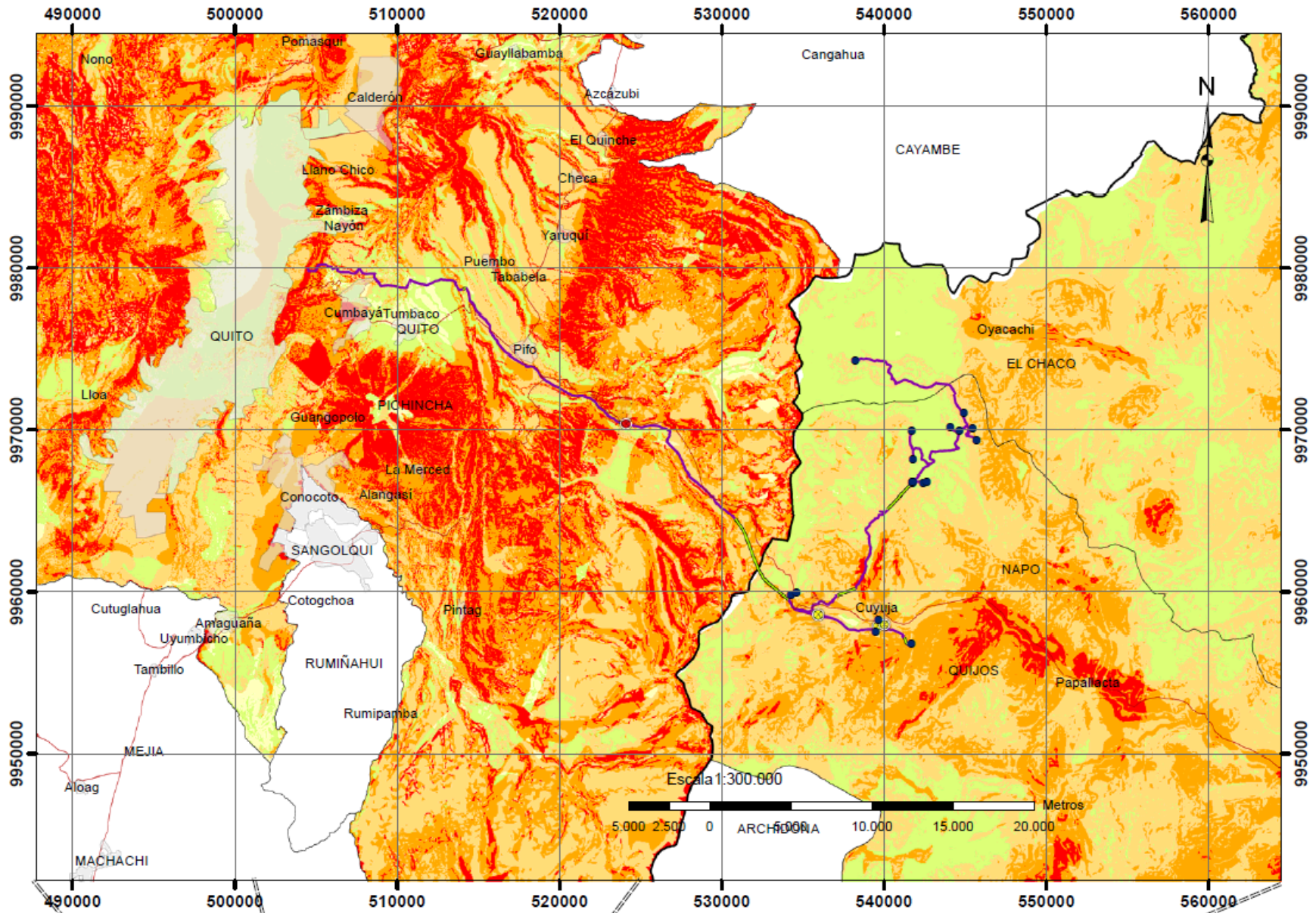
Estación Elevadora



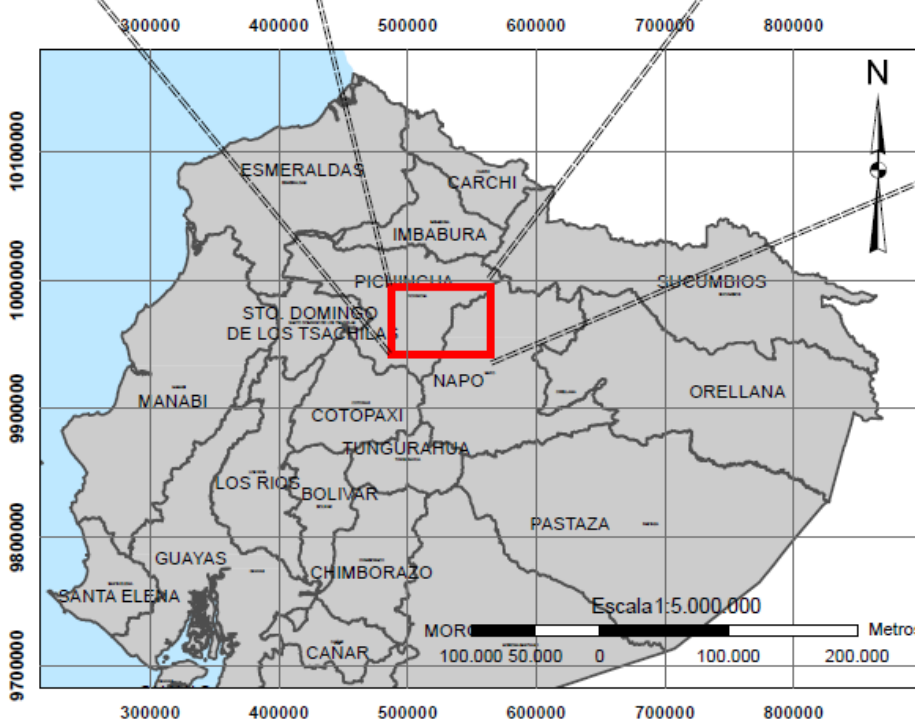
Anexo 2. Mapa de ubicación del Sistema de captación y conducción Papallacta

Anexo 3. Mapa de exposición a amenazas

MAPA DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA EL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN PAPALLACTA



UBICACIÓN DEL SISTEMA PAPALLACTA EN EL TERRITORIO ECUATORIANO



SIGNOS CONVENCIONALES

- Centros Poblados
- Vialidad principal
- División Cantonal
- División Provincial

SISTEMA PAPALLACTA

- Captaciones
- Conducción
- Estaciones de bombeo
- Túneles
- Estación Hidroeléctrica

FUENTES: EPMAPS-Q. (UEPRO y Gestión Ambiental y Responsabilidad Social) Información digital integrada y modificada por el autor, no contiene puntos de control.

SIMBOLOGÍA

Amenazas por movimientos en masa

- SIN: Espacio geográfico con características estables
- BAJA: Zonas con suelos, pendientes y geología estables aún ante fenómenos intensos y extensos como precipitación. Puede producirse solifluxión de material.
- MEDIA: Zonas con materiales muy poco o nada fracturados, con pendientes de 30 a 50 %. El material se inestabiliza tras actuaciones naturales muy intensas y/o extensas, así como a la acción de la precipitación de la zona.
- ALTA: En zonas con pendientes de 50 a 100 %. En suelos poco cohesivos y en rocas meteorizadas, fracturadas o de otro tipo de discontinuidad, acelerado por las precipitaciones de la zona.
- MUY ALTA: En zonas con pendientes >100%. En suelos no consolidados y rocas muy meteorizadas y fracturadas, acelerado por factores climáticos, sismotectónicos y antrópicos.

Fuente: Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SGNR), 2011.

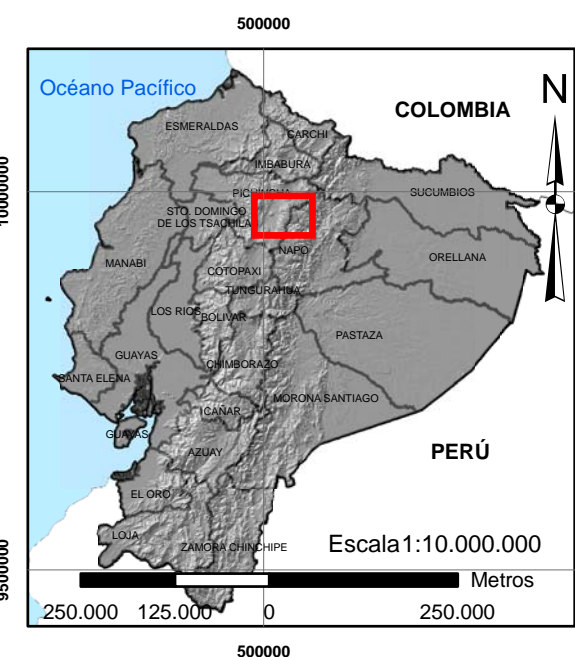
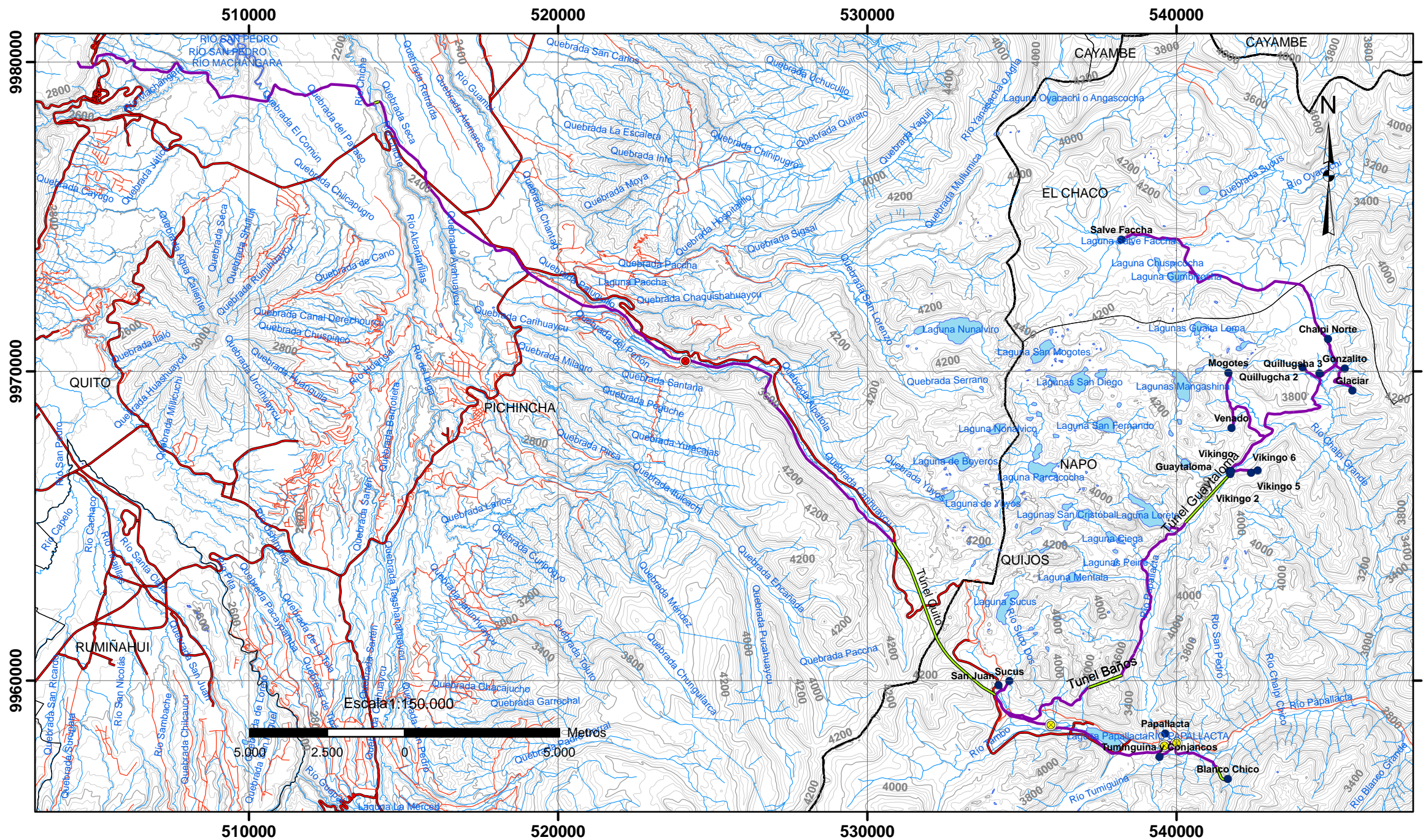
Sistema de Captación y Conducción Papallacta

Contiene: Mapa de amenazas por movimientos en masa 1:50.000

Elaborado por: Jorge Luis Proaño	Escalas: Indicadas
Proyección UTM TMQ Datum: WGS-84	Fecha: Septiembre/2011

Anexo 2. MAPA DE UBICACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN PAPALLACTA

UBICACIÓN DEL SISTEMA PAPALLACTA EN EL TERRITORIO ECUATORIANO



SIGNOS CONVENCIONALES

Vialidad

- Ruta primaria
- Ruta secundaria

Hidrografía

- Red hidrográfica principal
- Acequia
- Cuerpos de agua

Altimetría

- Curvas Índices (Cada 200m)
- Curvas Intermedias (Cada 40m)

FUENTE: Cartografía Base: IGM 1:50.000/
descargado en 2011

SISTEMA PAPALLACTA

- Captaciones
- Conducción
- Estaciones de bombeo
- Túneles
- Estación Hidroeléctrica

FUENTES: EPMAPS-Q. (UEPRO y, Gestión Ambiental y Responsabilidad Social)
Información digital integrada y modificada por el autor, no contiene puntos de control.

Sistema de Captación y Conducción Papallacta

Contiene: Mapa de ubicación del sistema
de captación y conducción Papallacta

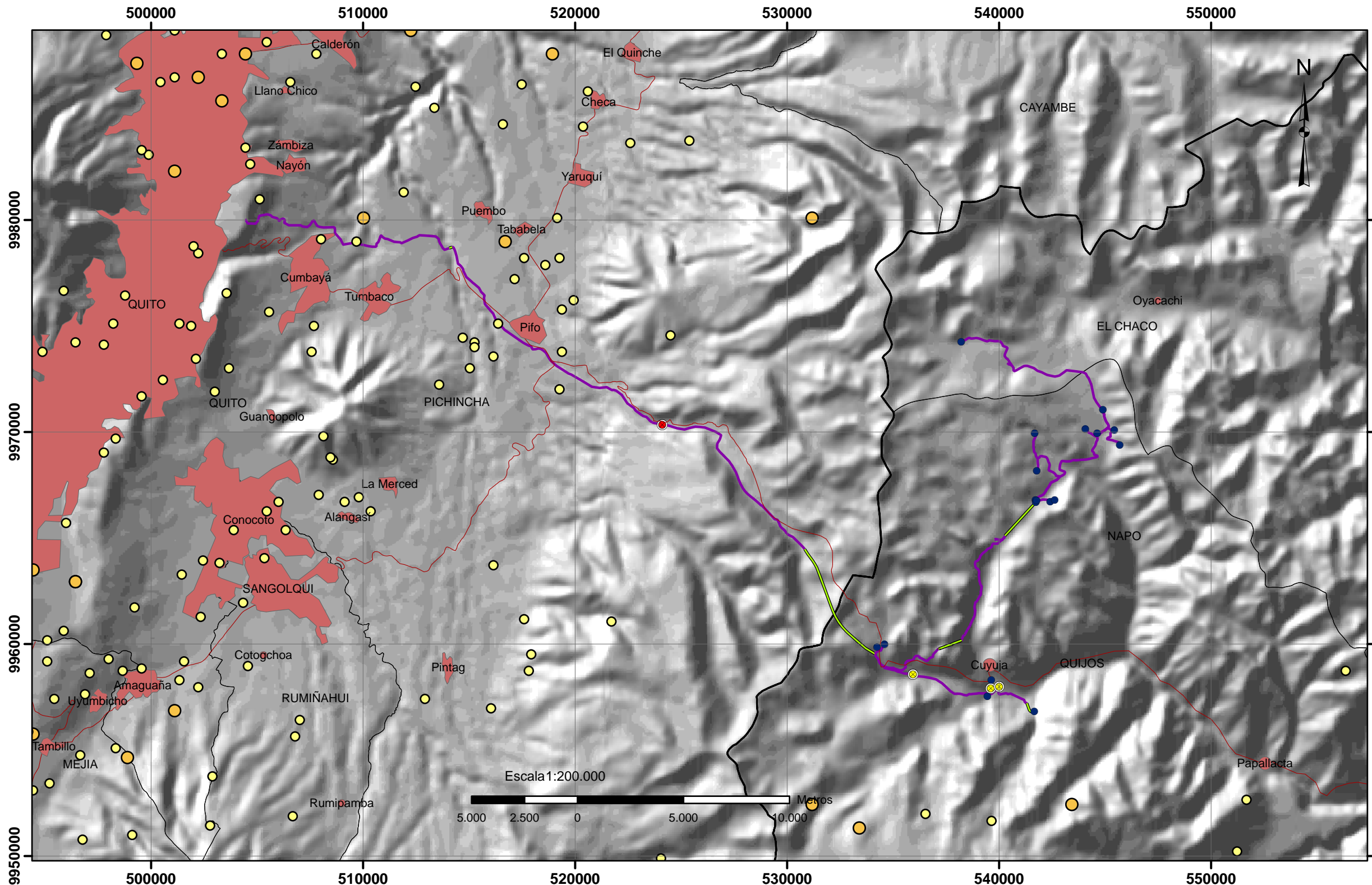
Elaborado por:
Jorge Luis Proaño

Escalas:
Indicadas

Proyección UTM TMQ
Datum: WGS-84

Fecha:
Noviembre/2011

Anexo 3: MAPA SISMOLÓGICO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN PAPALLACTA



SIGNOS CONVENCIONALES

- Centros Poblados
- Vialidad principal
- División Cantonal
- División Provincial

SISTEMA PAPALLACTA

- Captaciones
- Estaciones de bombeo
- Estación Hidroeléctrica
- Conducción
- Túneles

FUENTES: EPMAPS-Q. (UEPRO y, Gestión Ambiental y Responsabilidad Social) Información digital integrada y modificada por el autor, no contiene puntos de control.

SISMOS desde 1990 hasta enero/2011

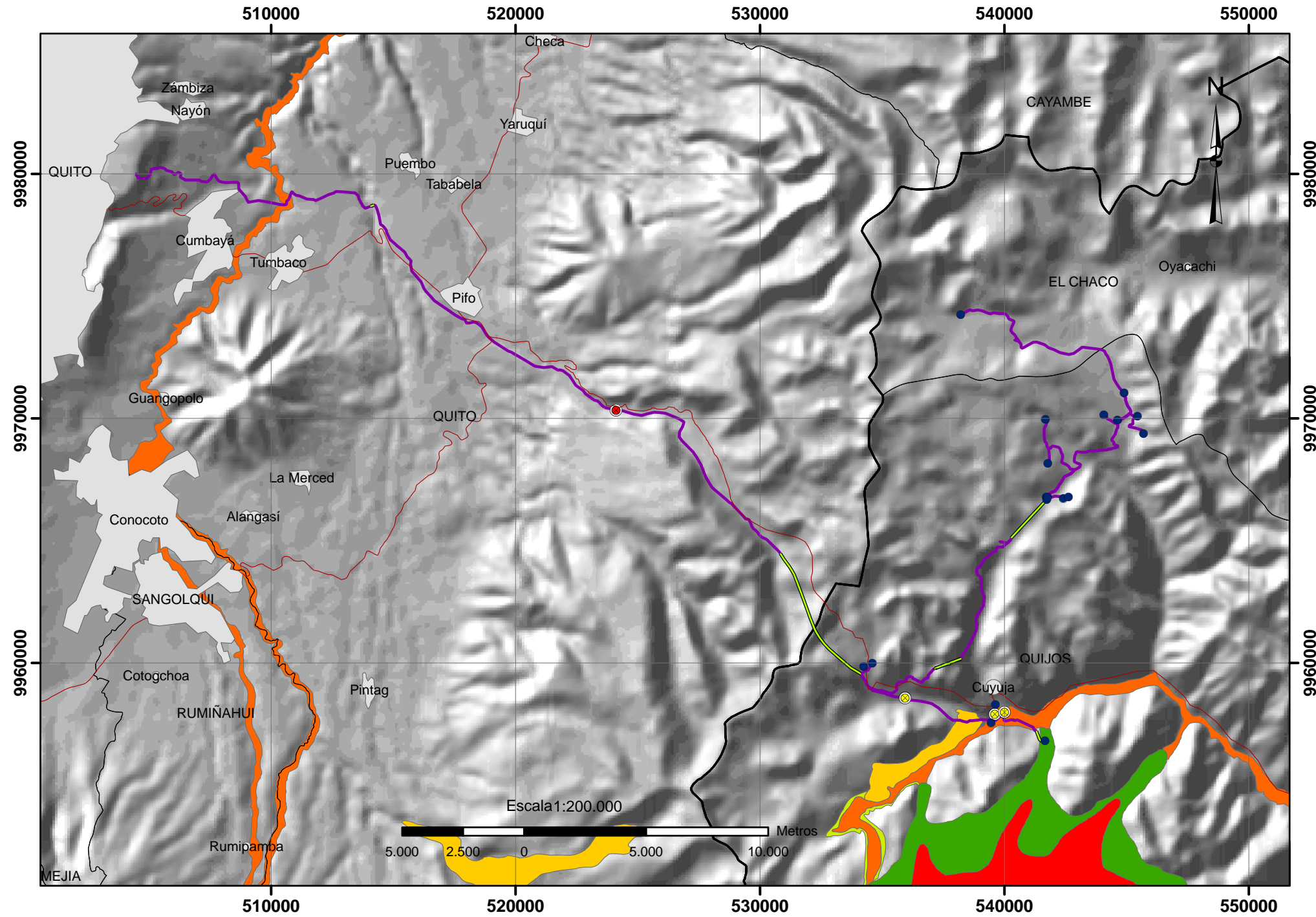
MAGNITUD

- 2,8 - 3,5
- 3,5 - 4,5
- 4,5 - 5,0

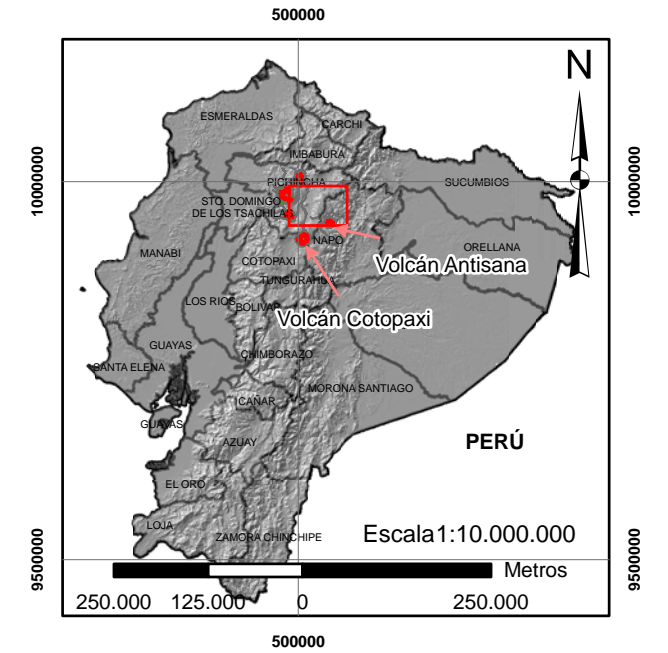
Fuente: Instituto Geofísico EPN/ Servicio Nacional de Sismología y Vulcanología

Sistema de Captación y Conducción Papallacta	
Contiene: Mapa sísmológico del sistema de captación y conducción Papallacta	
Elaborado por: Jorge Luis Proaño	Escalas: Indicadas
Proyección UTM TMQ Datum: WGS-84	Fecha: Septiembre/2011

Anexo 4. MAPA DE AMENAZAS VOLCÁNICAS PARA EL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN PAPALLACTA



UBICACIÓN DE LOS VOLCANES CERCANOS AL ÁREA DE ESTUDIO



Volcanes Cotopaxi y Antisana

Amenazas Volcánicas

- flujos de lodo
- lahar menor riesgo
- lahar mayor riesgo
- lava, piroclastos, lahar menor riesgo
- lava, piroclastos, lahar mayor riesgo

Fuente: EPMAPS, Gestión Ambiental y Responsabilidad Social

SISTEMA PAPALLACTA

- Captaciones
- Conducción
- Estaciones de bombeo
- Túneles
- Estación Hidroeléctrica

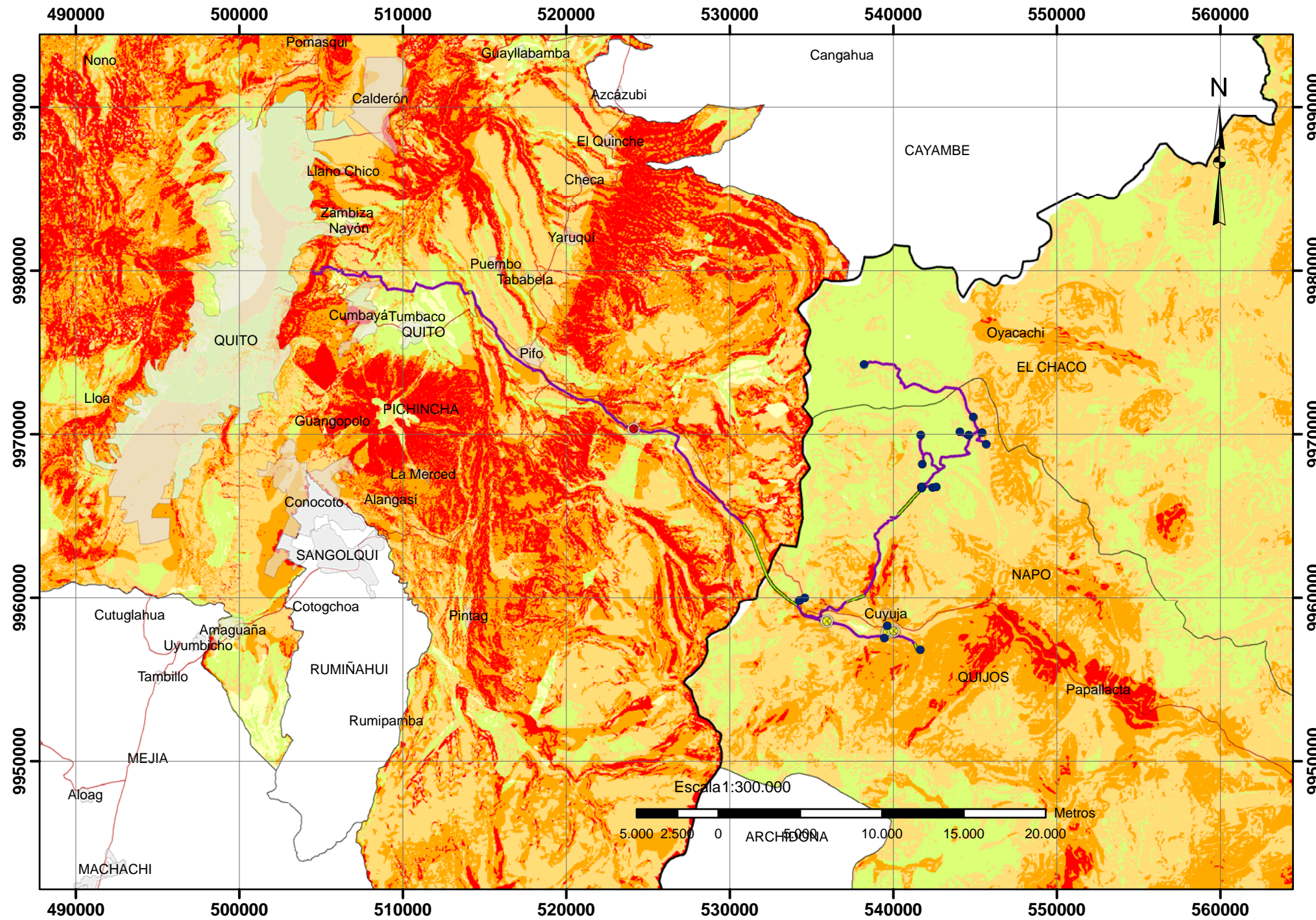
FUENTES: EPMAPS-Q. (UEPRO y, Gestión Ambiental y Responsabilidad Social)
Información digital integrada y modificada por el autor, no contiene puntos de control.

SIGNOS CONVENCIONALES

- Centros Poblados
- Vialidad principal
- División Cantonal
- División Provincial

Sistema de Captación y Conducción Papallacta	
Contiene: Mapa de amenazas volcánicas para el Sistema de captación y conducción Papallacta	
Elaborado por: Jorge Luis Proaño	Escala: Indicadas
Proyección UTM TMQ Datum: WGS-84	Fecha: Noviembre/2011

Anexo 5. MAPA DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA EL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN PAPALLACTA



SIGNOS CONVENCIONALES

- Centros Poblados
- Vialidad principal
- División Cantonal
- División Provincial

SISTEMA PAPALLACTA

- Captaciones
- Estaciones de bombeo
- Estación Hidroeléctrica
- Conducción
- Túneles

FUENTES: EPMAPS-Q. (UEPRO y, Gestión Ambiental y Responsabilidad Social) Información digital integrada y modificada por el autor, no contiene puntos de control.

SIMBOLOGÍA

Amenazas por movimientos en masa

	SIN	Espacio geográfico con características estables
	BAJA	Zonas con suelos, pendientes y geología estables aún ante fenómenos intensos y extensos como precipitación. Puede producirse solifluxión de material.
	MEDIA	Zonas con materiales muy poco o nada fracturados, con pendientes de 30 a 50 %. El material se inestabiliza tras actuaciones naturales muy intensas y/o extensas, así como a la acción de la precipitación de la zona.
	ALTA	En zonas con pendientes de 50 a 100 %. En suelos poco cohesivos y en rocas meteorizadas, fracturadas o de otro tipo de discontinuidad, acelerado por las precipitaciones de la zona.
	MUY ALTA	En zonas con pendientes >100%. En suelos no consolidados y rocas muy meteorizadas y fracturadas, acelerado por factores climáticos, sismotectónicos y antrópicos.

Fuente: Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SGNR), 2011.

Sistema de Captación y Conducción Papallacta

Contiene: Mapa de amenazas por movimientos en masa 1:50.000

Elaborado por: Jorge Luis Proaño	Escalas: Indicadas
Proyección UTM TMQ Datum: WGS-84	Fecha: Noviembre/2011