

5. SECTOR AGUA

5.1 La formulación de la evaluación de la vulnerabilidad específica del sector agua

La vulnerabilidad del sector agua en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) fue evaluada en función del abastecimiento de agua potable en las áreas de servicio atendidas por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Q). Se debe destacar que el sector agua contempla distintos usos que también son estratégicos para analizar su vulnerabilidad, pero para efectos de este estudio quedan planteados para su desarrollo.

Para lograr este objetivo, se aplicó el modelo de gestión integral de recursos hídricos WEAP (Water Evaluation And Planning system¹) previamente construido por la Escuela Politécnica Nacional (EPN) para la cuenca de Guayllabamba². Con el uso de la aplicación del modelo WEAP para la cuenca de Guayllabamba, se determinó la vulnerabilidad del sector agua en el DMQ. Con ello, la formulación del problema se fundamentó en el análisis de este modelo lo que permitió identificar y responder a la pregunta de política relevante en estudio.

Como antecedente al presente estudio se tiene como referencia, lo desarrollado en el Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el Distrito Metropolitano de Quito³, en el año 2009. El Plan Maestro de EMAAP-Q durante el período 1997-2008 desarrolló diferentes estudios para mejorar el conocimiento de las fuentes de agua superficial o subterránea y las correspondientes obras, necesarias para satisfacer la demanda de agua potable y saneamiento de la ciudad de Quito y de las 33 parroquias rurales que conforman el DMQ.

Con esta información de línea base, se alcanzaron los objetivos principales del Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el Distrito Metropolitano de Quito. Cuyos objetivos fueron ajustar la estrategia de desarrollo de los servicios de agua potable y saneamiento en el DMQ a corto, mediano y largo plazo (5, 10 y 30 años respectivamente), así como proporcionar una herramienta para la gestión y planificación de los servicios que presta EMAAP-Q. Con ello EMAAP-Q actualizó las relaciones entre demanda y oferta de agua potable, así como de saneamiento para el DMQ, planteando los proyectos de desarrollo requeridos.

A pesar de todo este esfuerzo, no se realizó un estudio de vulnerabilidad relacionado al suministro de agua potable para la zona metropolitana de Quito. Con ello, surgió la necesidad de llevar a cabo el presente estudio de vulnerabilidad del sector agua para el DMQ.

5.2 Definición de la pregunta de políticas relevantes e indicadores apropiados

La metodología propuesta para la estimación de la vulnerabilidad implica la selección de una pregunta guía para los procesos de investigación a partir de matrices denominadas Herramienta de Conocimiento Participativo. Como producto de este esfuerzo de reflexión entre los diferentes actores sectoriales, se seleccionó una pregunta clave coherente a las necesidades de políticas relevantes para ser desarrollada

¹ Sieber J. & Purkey D., 2011. *WEAP Water Evaluation And Planning System USER GUIDE*, Stockholm Environment Institute, U.S. Center (SEI-US), jan-2011, 343 p.

² Villacis M., Fernandez A., Pouget J.C., Escobar M., 2012, Impactos del cambio climático en el sector agua durante los últimos 30 años e identificación de los aspectos que constituyen la vulnerabilidad, Informe del WP1, Proyecto "Estudio de Vulnerabilidad al Cambio Climático en el DMQ", jul-2012, 18 p.

Fernández, Andrés. 2013. Manual Modelo oferta demanda G_KISS en WEAP. Escuela Politécnica Nacional. Quito Vulnerability Study.

³ Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el Distrito Metropolitano de Quito. 2009. Preparado para EMAAP-Q y Alcandía Metropolitana de Quito. Hazen and Sawyer.

por actores clave como es EPMAAP-Q y la Secretaría de Ambiente. La pregunta clave de este análisis es: ***¿Qué tan vulnerable es el suministro de las fuentes de agua actual y futura para el abastecimiento de agua potable del DMQ?*** Los resultados esperados de esta pregunta apuntan a obtener escenarios posibles actuales y futuros en cuanto a una posible disminución del recurso hídrico en las fuentes de capacitación y sus consecuencias en el abastecimiento de agua en el DMQ. Esta herramienta sin duda será de gran utilidad en la planificación de servicios por parte de los actores responsables en el suministro de agua potable en el DMQ.

Considerando que el sistema de agua potable del DMQ es administrado por EMAAP-Q, este sistema comprende el manejo de fuentes de captación, redes de conducción, el almacenamiento y tratamiento del agua en plantas de tratamiento y finalmente las redes de distribución que constituyen las zonas de servicio de agua potable.

5.2.1. Sistema de Agua Potable del Distrito Metropolitano de Quito

El sistema de abastecimiento del DMQ tiene sus orígenes en el siglo XVI, donde la napa y los manantiales de la ciudad comenzaron a ser utilizados⁴. A partir de la década de los 40's, la napa freática de Quito fue la principal fuente de abastecimiento. Posteriormente desde los años 60's, se encuentra en operación el sistema Occidente que usa las aguas superficiales del Pichincha y otras cuencas al Sur. En los años 70's se comenzó a observar una baja considerablemente los niveles piezométricos⁵, por lo que se tuvo la necesidad de un abastecimiento alterno proveniente de las cuencas del Sur. Con ello se implementó el suministro de agua del Río Pita. Con el mismo objetivo desde los años 90's se encuentra en operación el sistema Tesalia en la cuenca de San Pedro.

El sistema Noroccidente el cual está en funcionamiento desde el año 1991 captura las aguas de diversas quebradas del Pichincha hasta la cuenca alta del Río Mindo en el Occidente. El abastecimiento desde las zonas de páramos en las cuencas del lado amazónico comenzó en el año 1990. De igual forma, desde el año 1990 está en funcionamiento el primer sistema Papallacta. El sistema Mica comenzó su funcionamiento en el año 2000 y capta agua proveniente de las cuencas altas del Antizana, con alrededor de 70% de páramos y 5% de glaciár⁶.

El estudio ha considerado dos tipos de unidades de análisis: (i) las cuencas hidrográficas aportantes de agua "cruda" en las que se encuentran las fuentes de agua del DMQ mencionadas anteriormente, y (ii) las zonas de abastecimiento de agua potable (o también conocidas como zonas de servicio) a nivel de la distribución de la población otorgado por EPMAAP-Q.

Si bien, el DMQ cuenta con diferentes alternativas y reservas de agua (subterránea por ejemplo), el volumen de agua suministrado actualmente por estas cuencas aportantes es de aproximadamente un 90% (otras fuentes de suministro son los sistemas más pequeños localizados en el occidente del volcán Pichincha y ojos de agua locales en sectores rurales); por lo que de su funcionamiento y provisión depende el abastecimiento en las áreas de servicio urbano. A continuación se presenta el mapa de cuencas aportantes y áreas de servicio considerado en el análisis de vulnerabilidad, el mismo que servirá como mapa base de análisis o unidad espacial de análisis (ver Figura 1).

⁴ Pouget et al. 2013. Compartir los recursos hídricos en los Andes. Parte 1: Modelos Oferta-Demandas en las cuencas de Quito (Ecuador).

⁵ D'Ercole R. & Metzger P., 2004. La vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Quito, Ecuador, dic. 2004, ISBN 9978-970-52-5, 496 p.

⁶ Pouget et al. 2013. Compartir los recursos hídricos en los Andes. Parte 1: Modelos Oferta-Demandas en las cuencas de Quito (Ecuador).

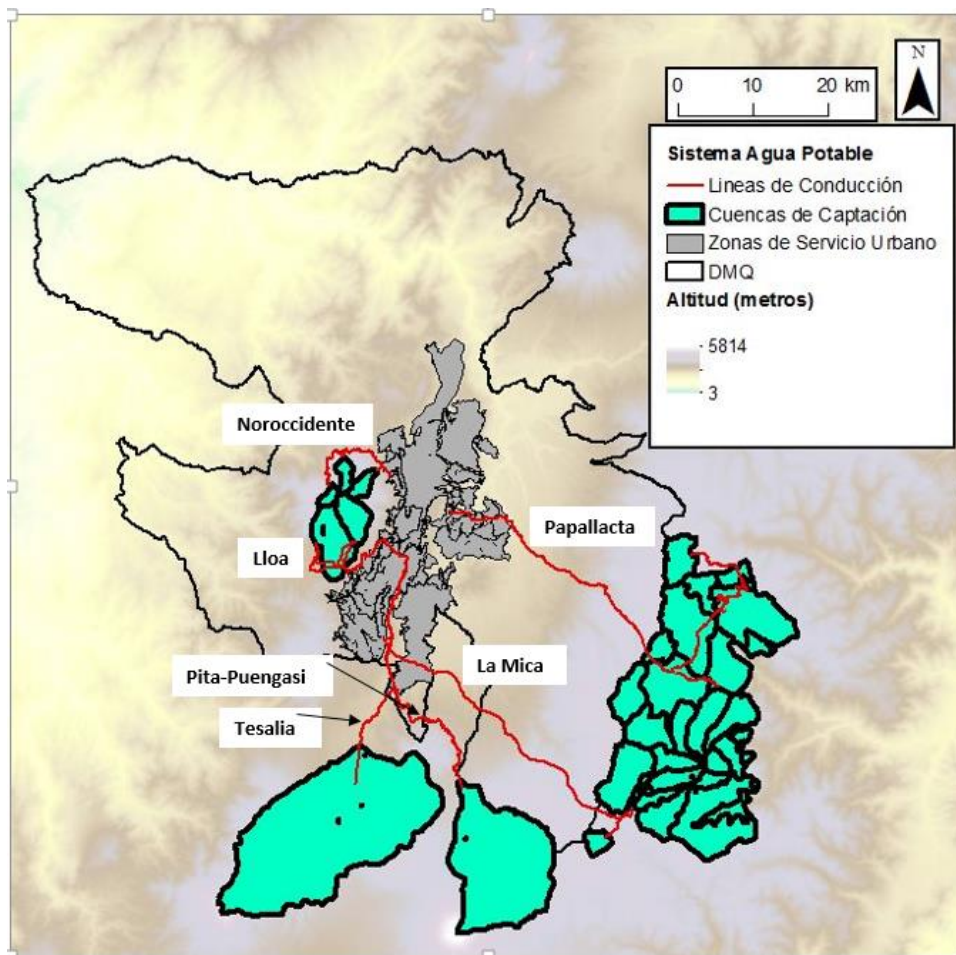


Figura 1 Mapa de principales cuencas hídricas aportantes del abastecimiento de agua potable del DMQ y zonas de servicio - Fuente: Villacis et al. 2012; Fernández 2013; EMAAP-Q.

El mapa precedente en la Figura 1 muestra que las cuencas aportantes de agua para el DMQ se encuentran fuera de la jurisdicción del este territorio. Esta particularidad difiere con los otros sectores de estudio, cuyas unidades espaciales se circunscriben en los límites del DMQ. Asimismo, se conoce que en el DMQ existen otras fuentes de abastecimiento aportantes a nivel rural y a nivel de las zonas del Noroccidente del volcán Pichincha, las mismas que no han sido incluidas en este mapa, debido a que esta información no se encuentra integrada al sistema SIG por EMAAP-Q.

Partiendo de esta línea base del estudio, se identificaron los siguientes indicadores espaciales para definir la exposición y la sensibilidad del sector agua.

Para la exposición, se proponen dos categorías generales de indicadores:

1. Las condiciones climáticas en las cuencas aportantes, y
2. La cobertura de páramo en las cuencas aportantes.

Estos dos indicadores (ya sea de forma individual o combinada) permiten comprender las variaciones en la cantidad de agua disponible para satisfacer las necesidades de los usuarios dentro de las zonas de

servicio de EMAAP-Q. Esta información es clave para determinar el la suficiencia del suministro del agua potable.

Como antecedente de la exposición climática se tienen que en las estribaciones orientales de la cordillera Central, donde se localizan las captaciones de los aprovechamientos Papallacta, La Mica, y los Proyectos de Ríos Orientales, el tipo de clima es frío de alta montaña, uniforme (lluvia durante todo el año y temperatura menor a 12 °C). Se aprecia una variación de precipitaciones, que aumenta desde la zona sur en sentido oeste – este, en valores que fluctúan entre 800 mm en Tamboyacu y 2200 mm en Cosanga. Al norte de la misma zona, las lluvias anuales son espacialmente más uniformes con una media del orden de 1300 mm en la divisoria de aguas de la cordillera, 1500 mm en Papallacta y 1700 mm aproximadamente en las zonas de Chalpi y Quijos⁷. Se observa que la distribución de las precipitaciones mensuales al interior del año muestra un período con mayor precipitación entre abril y septiembre, con picos en los meses de junio y julio.

Para estimar la sensibilidad, se propone un indicador:

1. La cobertura del suministro de agua potable considerando la población dentro de cada una de las zonas de servicio del DMQ.

El crecimiento de la población acentúa las demandas del servicio de agua potable, las mismas que, a través del tiempo, han sido cubiertas por el suministro otorgado por EMAAP-Q generando una elevada confiabilidad.

Considerando que la demanda de agua se define por la combinación del número de usuarios y la cantidad de agua utilizada por cada usuario, el cálculo de la confiabilidad del sistema de abastecimiento, hace uso de la relación entre los volúmenes demandados y suministrados totales en el DMQ. Dicha relación es importante en la comprensión de la cobertura del servicio.

La limitada información del consumo final por usuario, los datos de población son analizados desde las demandas per cápita obtenidas del Censo de Población del 2010 y el Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el Distrito Metropolitano de Quito⁸. Esto permitió generar estimaciones de demanda de agua por zonas de servicio, las mismas que serán empleadas para el presente estudio.

La población es uno de los componentes en la estimación de la demanda total de agua en los cálculos de confiabilidad del suministro. En ausencia de datos detallados del consumo final por usuario, los datos de población se combinan típicamente con los supuestos de la cantidad de agua utilizada por usuario (demanda per cápita) para producir estimaciones agregadas de la demanda de agua a satisfacer. Por lo tanto, en el estudio se hace uso del número de población, como parte del análisis del sector del agua.

5.3 Implementación de la metodología

EXPOSICIÓN

Para una mejor comprensión de la exposición actual se analizará la variación climática y el porcentaje de páramo en relación a las cuencas aportantes. El primer escenario de exposición (ver Figura 2) contiene una representación espacial de la temperatura media anual histórica en el DMQ y áreas aledañas donde se incluye cada una de las subcuencas aportantes.

⁷ EMAAP-Q, PRO. (2005). Estudios Hidrológicos a Nivel de Prefactibilidad del Proyecto de Agua Potable Ríos Orientales. Quito.

⁸ Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el Distrito Metropolitano de Quito. 2009. Preparado para EMAAP-Q y Alcandía Metropolitana de Quito. Hazen and Sawyer.

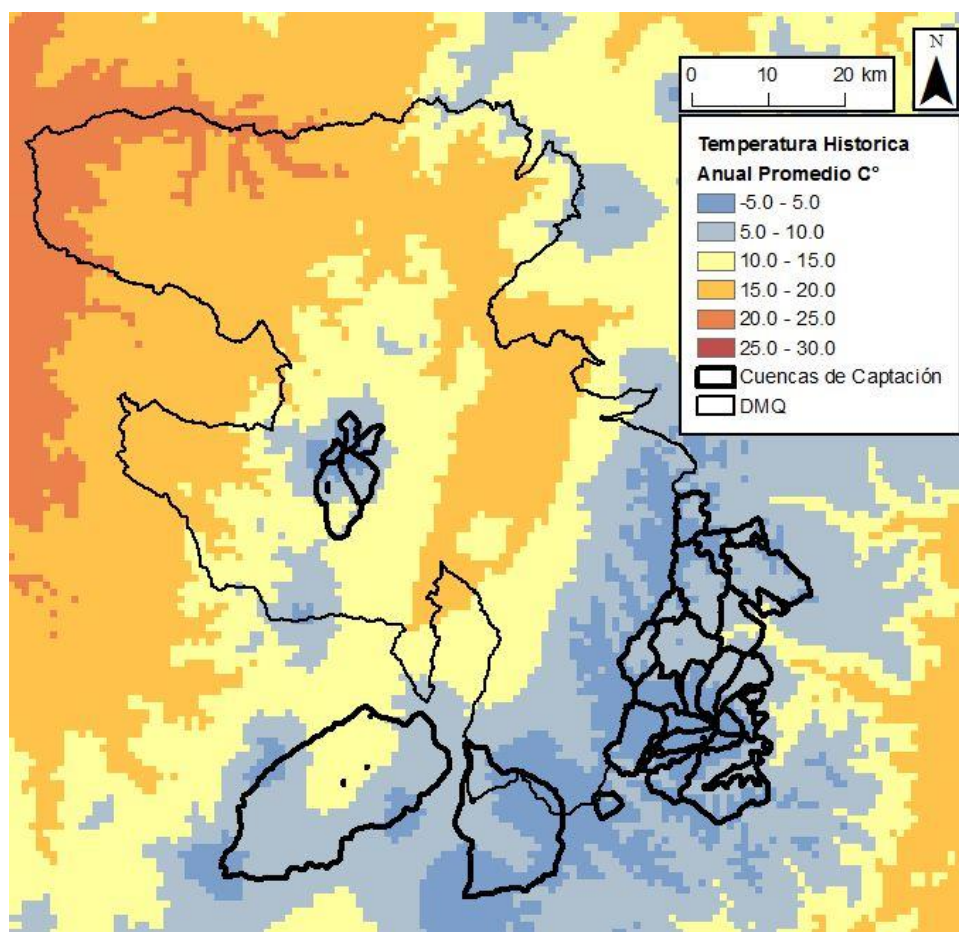


Figura 2 Temperatura promedio anual histórica para la región en °C (1960-2012)

Un segundo escenario de exposición contempla lo relacionado con la precipitación, que se define como el 90% del nivel de excedencia (precipitación estimada con un 90% de confiabilidad en base a información histórica). Esta temática puede ayudar a definir la presencia de condiciones secas. En la Figura 3 se presenta un mapa que muestra la representación espacial de la precipitación anual asociada con el nivel de excedencia en el registro del clima histórico del año 1970 al 2007 para cada cuenca aportante del EMAAP-Q.

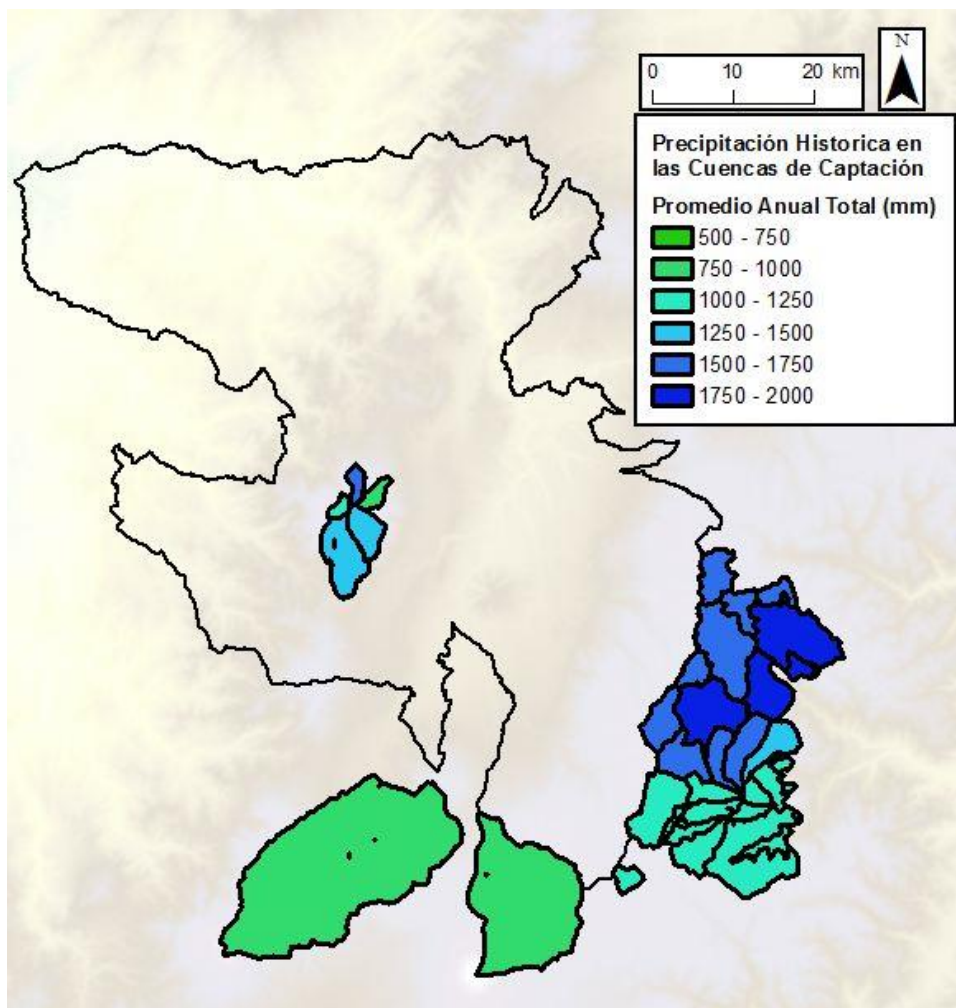


Figura 3. Rangos de precipitación histórica en las cuencas de captación (1970 - 2007). Se debe mencionar que no hay un mapa de la precipitación regional disponible, siendo que los valores de precipitación previstos de Worldclim⁶ para el DMQ son los mismos que los valores históricos reportados. El mapa de precipitación histórica más exacta que se recibió de la Secretaría del Ambiente de DMQ, tiene información que cubre al DMQ y se omite las áreas aledañas donde se ubican las cuencas aportantes. Por lo tanto, el mapa que se presenta aquí sólo muestra los valores de las precipitaciones que se utilizaron en el modelo WEAP para cada cuenca aportante.

Se debe considerar que la EPMAAPS como una estrategia para asegurar la calidad en el suministro de agua potable al DMQ, históricamente se han implementado fuentes de agua relativamente a gran altitud que están por encima de las grandes concentraciones de la actividad antropogénica. Esta estrategia se da con el objetivo de eliminar problemas relativos a contaminación del recurso, y por otro lado, darle prioridad al uso urbano-potable sobre los demás usuarios de agua localizados aguas abajo.

Un tercer escenario para los análisis de exposición es el uso y ocupación de suelo. Este indicador propuesto es el porcentaje de superficie que poseen los páramos en la cuenca aportantes. En la Figura 4 se presenta el siguiente mapa que muestra el porcentaje del páramo dentro de cada cuenca aportante, desglosado por subcuencas.

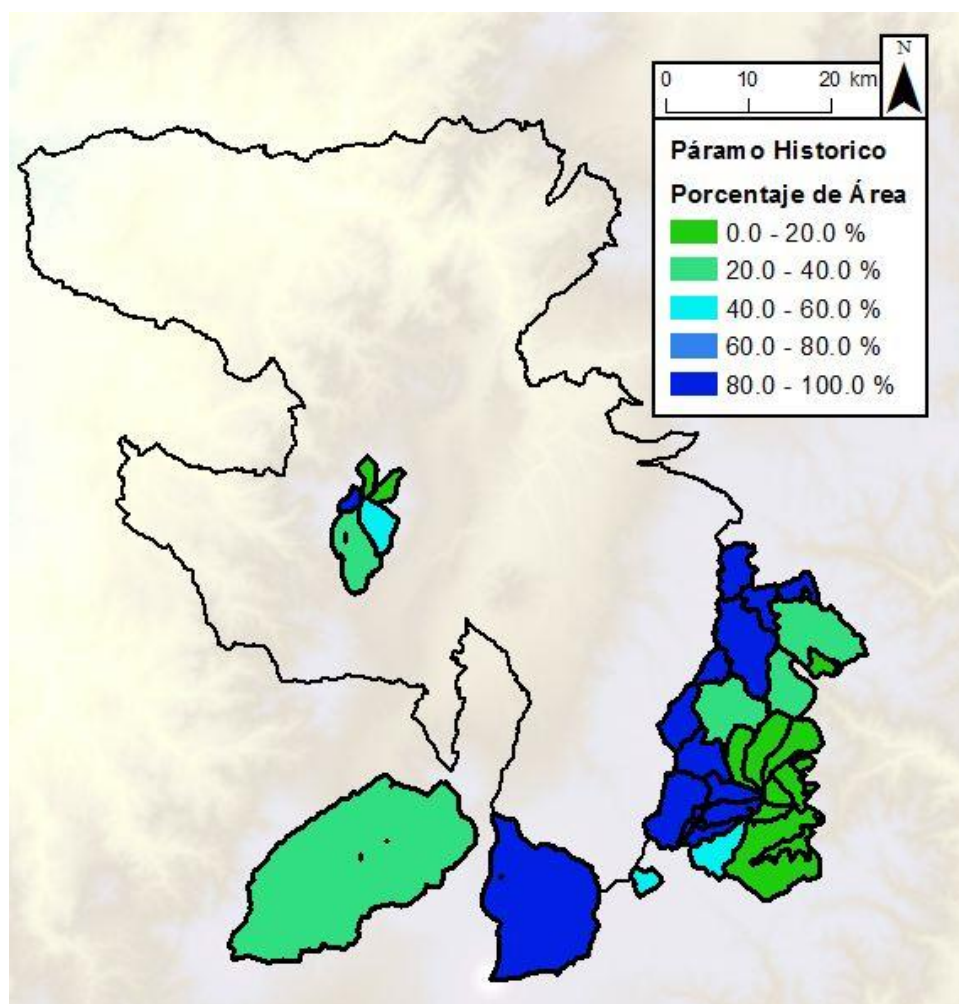


Figura 4 Porcentaje de ocupación de páramo como se tiene en el modelo WEAP la cuenca de Guayllabamba (valores al año 2007)

De esta manera los escenarios de exposición se encuentran relacionados con el clima (precipitación y temperatura) y por la cobertura de del páramo en cada una de las cuencas aportantes, las mismas que son útiles para estimar la exposición actual del sistema de suministro de agua del EMAAP-Q.

Por otro lado y como parte del análisis de vulnerabilidad, se establece una relación entre la cantidad de agua disponible para el abastecimiento de agua y las áreas de servicio del EMAAP-Q (Figura 5).

Bajo estas condiciones, existe un indicador de sensibilidad (Figura 6) definido como el número de habitantes por cada zona de servicio. Este indicador se le relaciona con el consumo de agua per cápita agregado para proporcionar una estimación de la demanda total que debe ser satisfecha por las cuencas aportantes. El número de habitantes al año 2010 dentro del DMQ fue tomado del Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el Distrito Metropolitano de Quito⁹, el cual a su vez se basa en las estadísticas reportadas por el Censo de población del 2010.

⁹ Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el Distrito Metropolitano de Quito. 2009. Preparado para EMAAP-Q y Alcandía Metropolitana de Quito. Hazen and Sawyer.

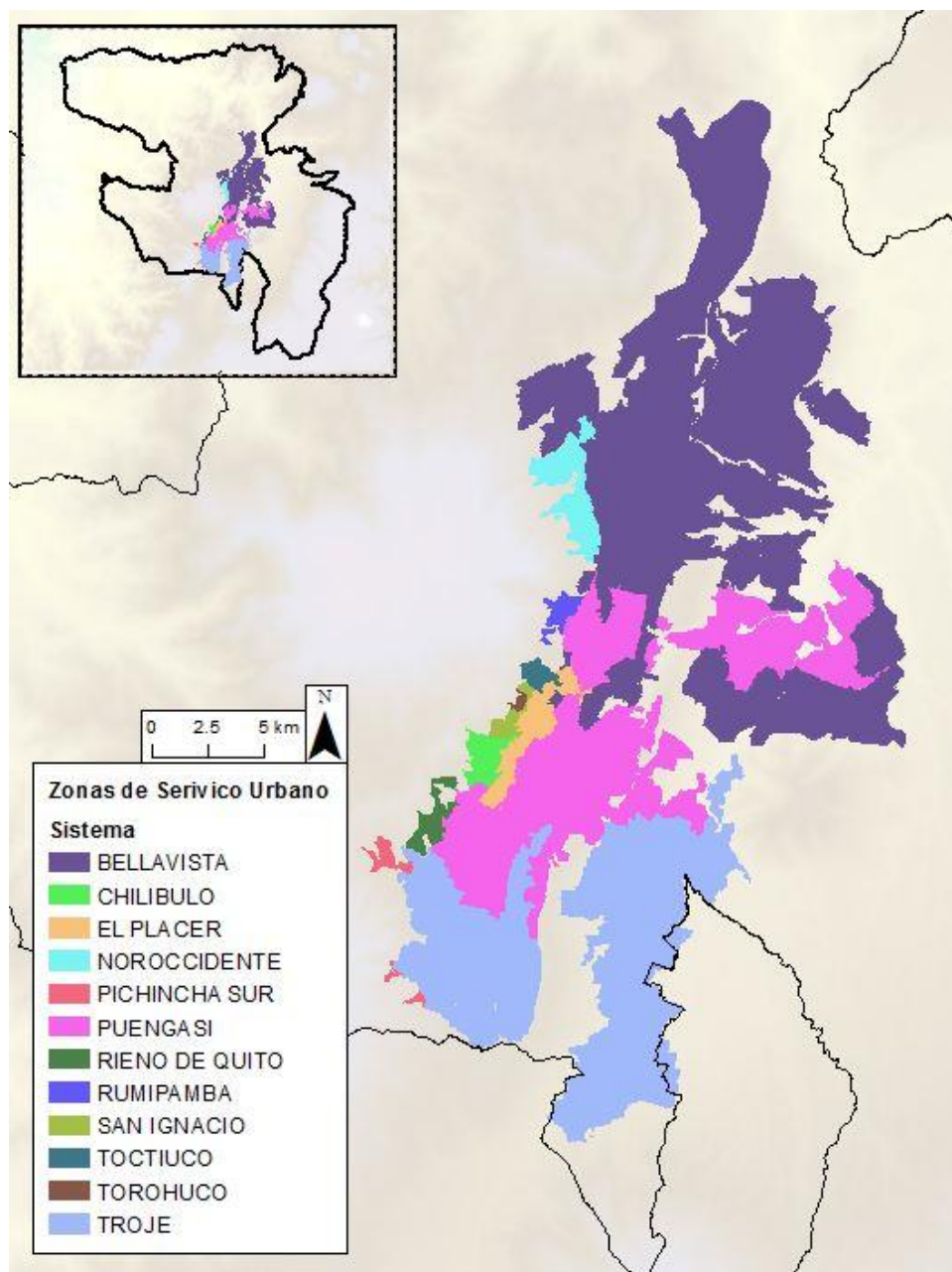


Figura 5 Zonas de servicio de agua potable (zonas urbanas únicamente) en el DMQ

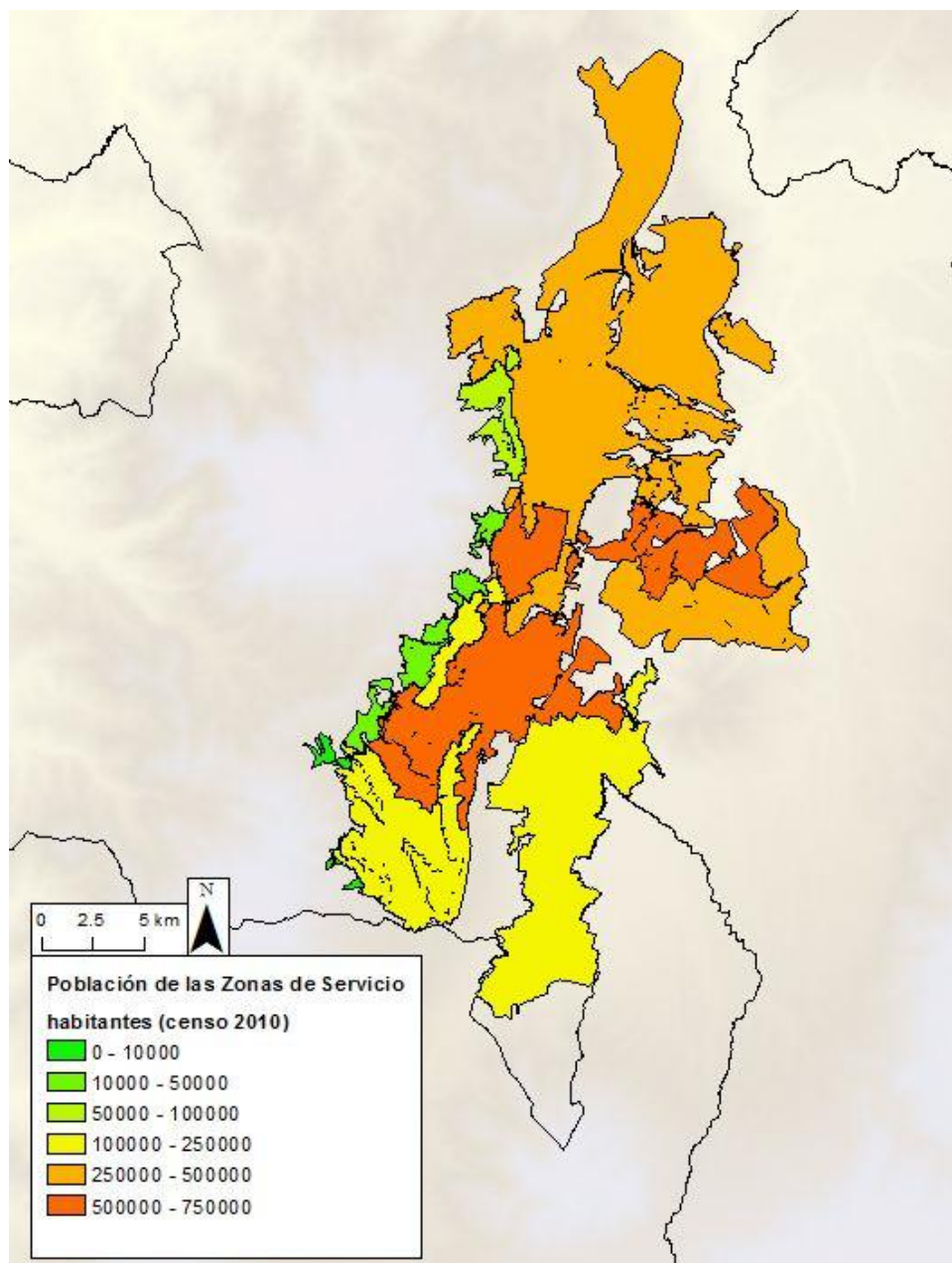


Figura 6 Mapa de población de las zonas de servicio en base al censo del año 2010. Las estadísticas fueron tomadas directamente del Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el Distrito Metropolitano de Quito.

El Modelo de Gestión del Recurso Agua para la Cuenca de Guayllabamba

La información de la demanda contribuye a la construcción de un modelo de gestión integral del agua que evalúa la confiabilidad del suministro. Como se mencionó al inicio de esta sección, el modelo específico utilizado para apoyar este análisis es una aplicación del modelo WEAP para la cuenca de Guayllabamba construido por investigadores de la Escuela Politécnica Nacional. En la Figura 7 se tiene la representación de la interface gráfica del usuario en el modelo WEAP utilizado para apoyar el análisis de la vulnerabilidad en el sector de agua.

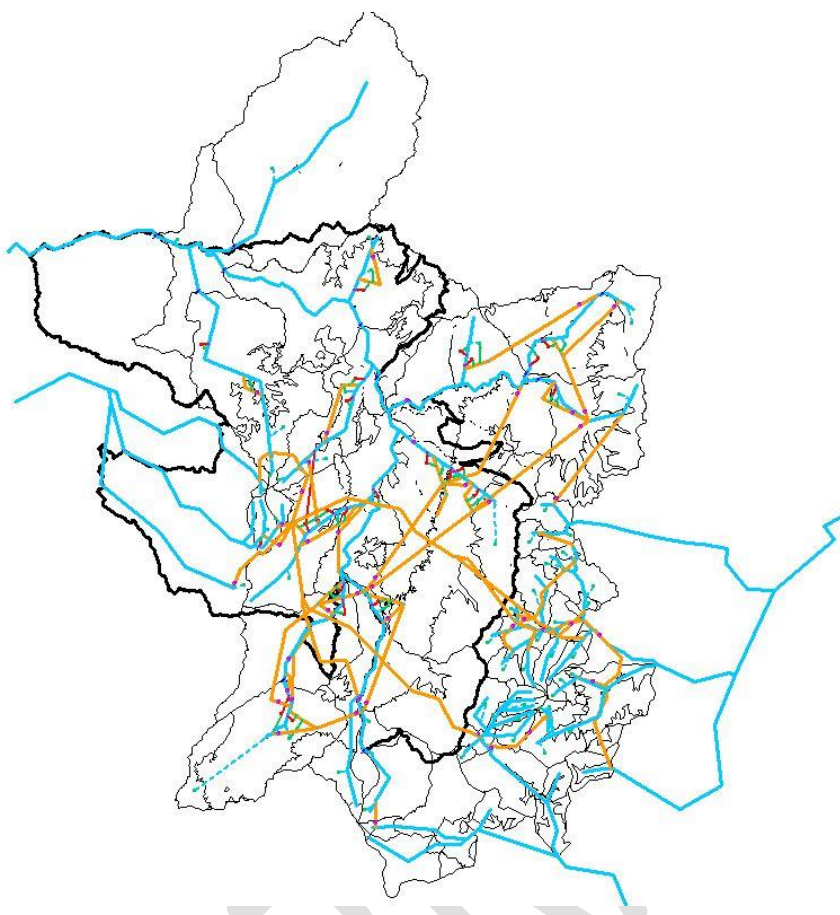


Figura 7 Esquema del modelo WEAP para la cuenca de Guayllabamba

La aplicación del modelo WEAP para la cuenca de Guayllabamba incluye un modelo de lluvia-escorrentía que traduce entradas climáticas y caracterizaciones de la cobertura vegetal en valores de caudales, así como los objetos del modelo para representar a la infraestructura hidráulica (tomas de agua, red de alimentación, plantas de tratamiento, tanques de almacenamiento, red de distribución, etc.) que se utiliza para los suministros y satisfacer las demandas hídricas representadas en el modelo.

Es preciso señalar que esta aplicación del modelo WEAP se desarrolló originalmente para apoyar la planificación y el análisis integrado de los recursos hídricos a nivel de la cuenca del Guayllabamba. Como tal, el modelo no incluye los elementos relacionados con los planes de expansión y mejoramiento futuro del sistema, y las políticas del EMAAP-Q en el suministro y conducción del recurso agua para uso urbano. No obstante, el modelo cuenta con todos los elementos claves existentes del sistema de suministro de agua potable del DMQ, incluyendo la capacidad de simulación de caudales en los puntos de toma de las cuencas aportantes, las limitaciones físicas sobre la capacidad para conducir el agua desde las cuencas aportantes a las zonas de servicio, y la relación entre la población y la demanda de agua en zonas de servicio. Sin embargo es de importancia señalar que el modelo WEAP tiene los elementos necesarios para desarrollar un análisis de vulnerabilidad del sector agua para el DMQ.

Cuando el modelo se ejecuta, utiliza la información histórica de clima, la cobertura original del suelo en las cuencas hidrográficas de estudio y los niveles actuales de población y demanda per cápita. El cruce de estas variables en el modelo para condiciones actuales evidencia un equilibrio entre el suministro y

demanda denotando un 100% de confiabilidad del sistema. Dicho de otra manera, la demanda en las condiciones actuales es cubierta completamente (Figura 8). Estos resultados producidos por el modelo WEAP coinciden con argumentos técnicos obtenidos de EPMAAP-Q y de técnicos de SEI; y, además concuerdan con los datos presentados en el Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el Distrito Metropolitano de Quito¹⁰. Este indicador de cobertura de la demanda de agua potable para el DMQ ha sido seleccionado como el nivel de vulnerabilidad del sector de agua con respecto a la pregunta clave considerada de las políticas relevantes. En la Figura 8 se presenta el mapa de las áreas de servicio en color verde representado un 100% de confiabilidad.

¹⁰ Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el Distrito Metropolitano de Quito. 2009. Preparado para EMAAP-Q y Alcandía Metropolitana de Quito. Hazen and Sawyer.

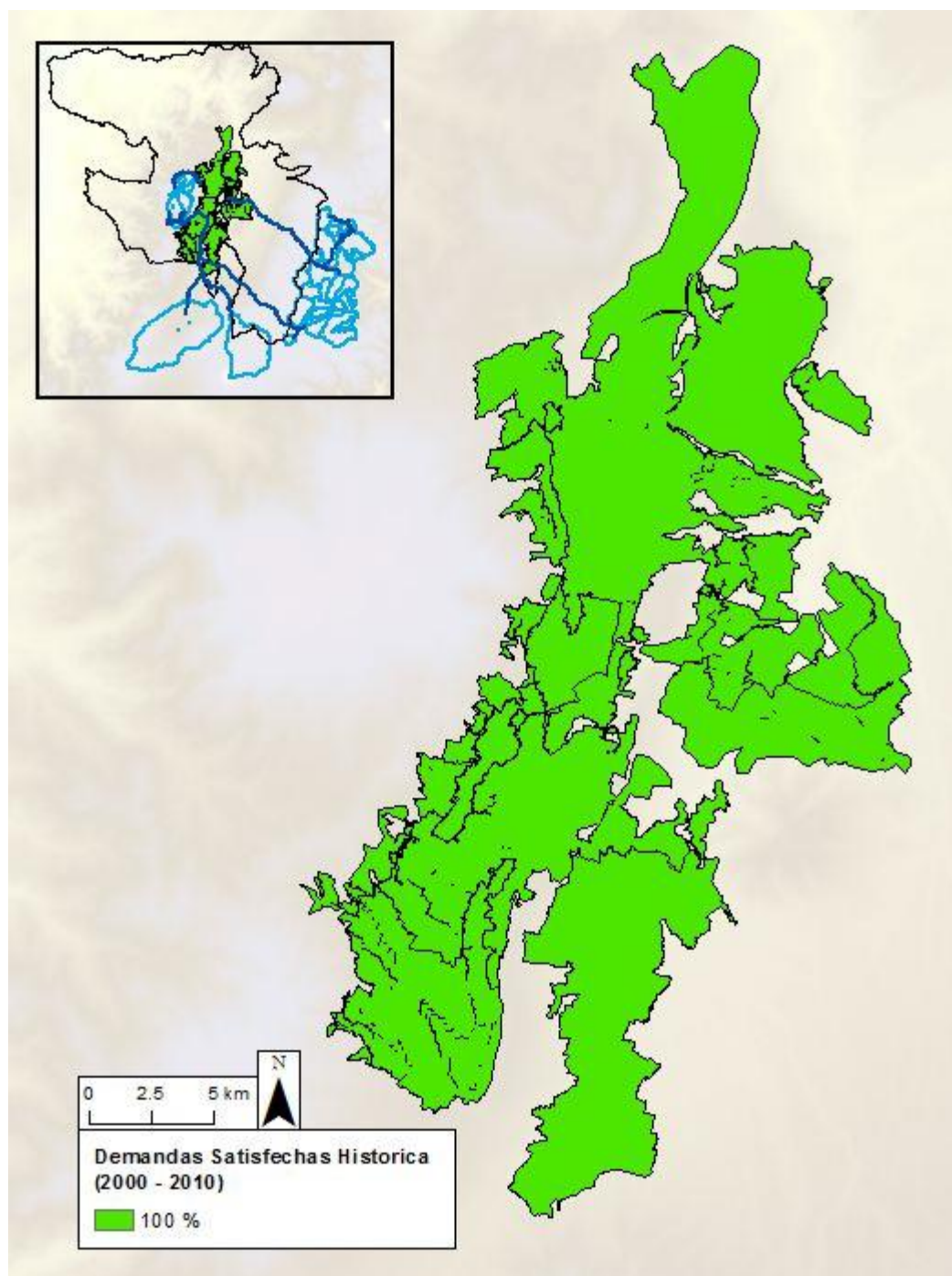


Figura 8 Cobertura de demandas en base a condiciones históricas del modelo WEAP del período 2000 al 2010. En este se satisface en un 100% la demanda

Este análisis evidencia que la confiabilidad de suministro actual del sistema de agua potable del EMAAP-Q no es particularmente vulnerable al cambio climático y cambios de uso del suelo, debido a que las cuencas aportantes tienen capacidad de suministro de la demanda actual.

Este es un resultado positivo para el DMQ y es coherente con la impresión general que tienen los gestores del agua dentro de EMAAP-Q con respecto a la confiabilidad del sistema. No obstante, ***¿qué pasaría en las cuencas aportantes si existieran cambios en el clima y del uso del suelo en ausencia de gestión territorial?*** El abordaje de esta problemática sugiere la realización de un escenario futuro de vulnerabilidad. Para ello es necesario la recopilación de una serie de escenarios narrativos relacionados con el cambio climático, el cambio de uso del suelo y el crecimiento de la población, como marco referencial de utilidad, para definir un escenario de vulnerabilidad futuro definido por el indicador de confiabilidad del suministro de agua potable.

Para esta parte del estudio no se consideran otros tipos de cambios y/o incertidumbres que juegan un papel importante a futuro, por ejemplo (i) el crecimiento per-cápita a futuro, (ii) necesidades de expansión en sistema de conducción, tratamiento, almacenamiento y la infraestructura que EPMAAP-Q utilizaría para nuevas líneas de conducción en cuencas aportantes, (iii) incrementos en los consumos diarios de agua por persona dentro del DMQ, (iv) cambios en consumo de agua por zonas de servicio (incrementos o decrementos en zonas de servicio), etc.

Los componentes de los escenarios a analizar se caracterizan por:

- El aumento de la temperatura a lo largo de las cuencas aportantes
- El aumento en la frecuencia de la sequía sobre las cuencas aportantes
- La disminución de la superficie ocupada por el páramo en las cuencas aportantes
- El aumento de la población en las áreas de servicio

Componentes de la Temperatura a Futuro en las Cuencas Aportantes

Para la determinación de la temperatura a futuro se aplicaron valores medios anuales de temperatura para el año 2007 al 2050 para los escenarios de emisiones de carbono altas (vía concentración relativa (RCP) 8.5)¹¹. Los incrementos previstos hasta el año 2050 como modelados por Worldclim se interpolan linealmente del 2007 al 2050 y se aplican a valores históricos con el fin de obtener un aumento gradual de la temperatura, mientras que se mantiene la variabilidad natural de año en año. En la Figura 9 se presenta un mapa de la temperatura media anual para la década 2040-2050. En la Figura 10 se presenta la diferencia en porcentaje respecto a los datos históricos.

¹¹ Worldclim.org 1km-resolution gridded datasets representing monthly predicted averages for 2050 were used. 5 CMIP-5 models were selected and averaged to produce a more robust dataset (CCSM4, CNRM-CM5, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR)

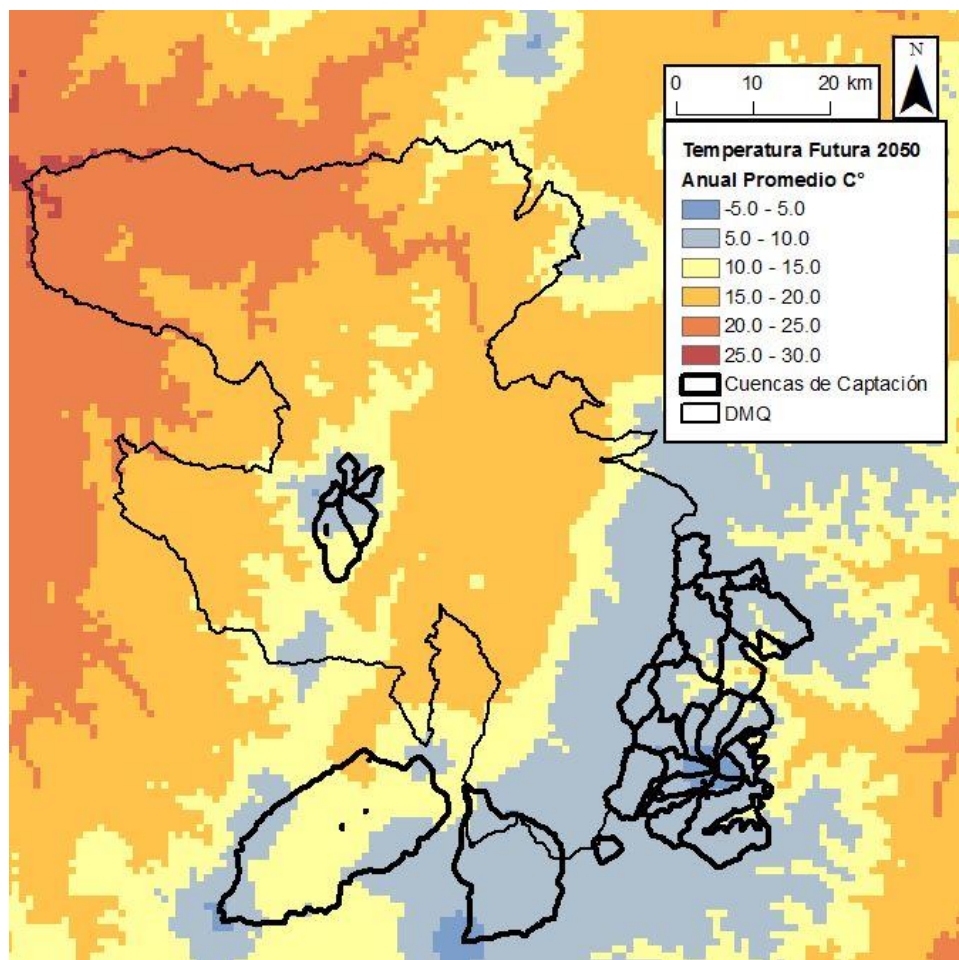


Figura 9 Valores de temperatura promedio anual al año 205 en la región del DMQ.

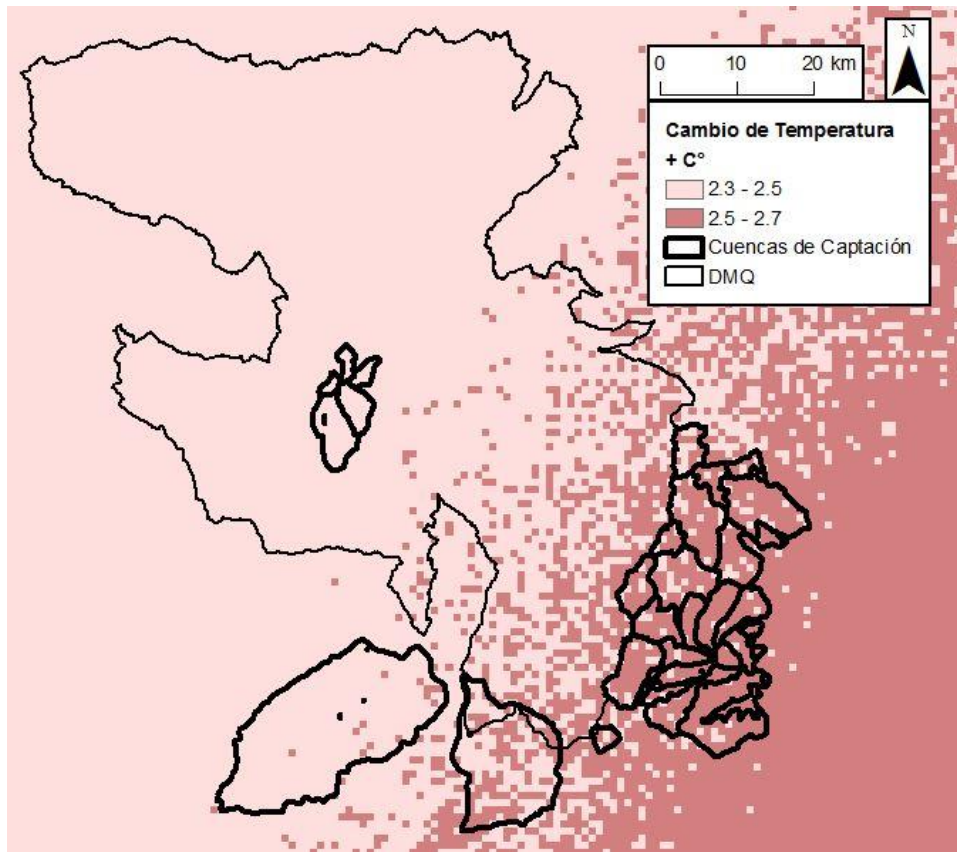


Figura 10 Diferencia en temperatura media anual del periodo (1960 – 2012 al 2050) en la región del DMQ.

Componentes de la Precipitación a Futuro en las Cuencas Aportantes

Dado que las predicciones futuras de precipitación no son concluyentes con respecto a los grandes aumentos o disminuciones, se consideró que la mayor amenaza serían años sucesivos de sequía. Por lo tanto, los niveles de precipitación a partir de 3 años históricamente secos (1992, 1995, 2001), se repiten en ciclos de sequía de 3 años durante el periodo 2007 - 2050. Esto arroja un decremento promedio ficticio en las precipitaciones del DMQ de 34% respecto a los valores históricos. Este decremento en precipitación es una incertidumbre que hay que tomar con precaución. Sin embargo, si bien es muy poco probable que los años futuros serán tan secos como estos, esta simulación está destinada a demostrar cómo el sistema responde un escenario de sequía continua a lo largo del tiempo, y más aun con aumentos de temperaturas y población como se presenta más adelante.

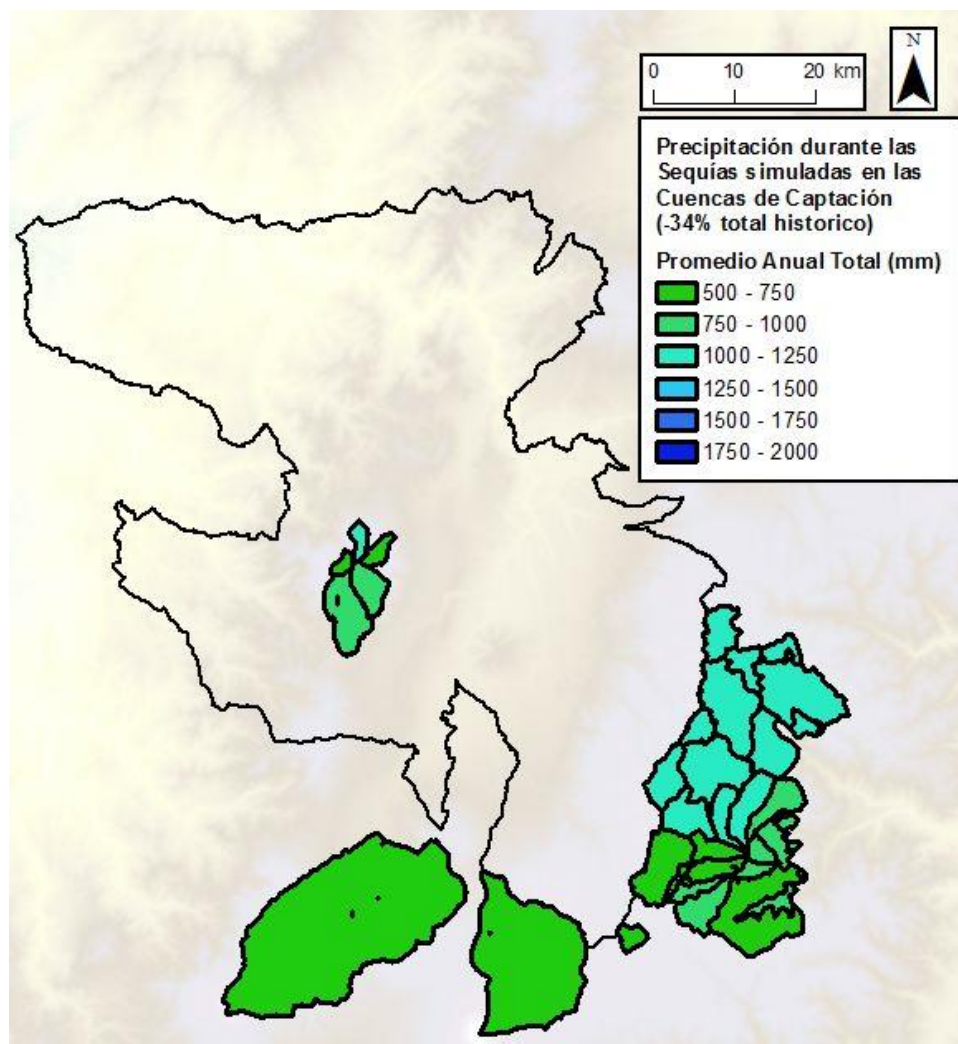


Figura 11 Rangos medios de precipitaciones en la simulación con periodos de sequía. En promedio se redujo un 34% la precipitación histórica en las cuencas de aporte.

Componentes de la Cobertura del Suelo a Futuro en las Cuencas Aportantes

Considerando el análisis de vulnerabilidad del ecosistema de páramos del DMQ (elevación > 3800 msnm), en relación con cambios en la frontera agrícola se han modelado los efectos que este cambio de uso del suelo podría tener sobre la generación del recurso hídrico en las cuencas aportantes. Sin embargo, la expansión de la frontera agrícola en estas cuencas, sólo la constituiría la agricultura de temporal (el modelo cuenta con superficies agrícolas bajo riego y de temporal). Por lo tanto, podemos decir que no hubo ningún movimiento adicional de agua en todo el sistema con el fin de satisfacer las demandas agrícolas de temporal, No obstante, las características de los suelos (es decir, capacidad de retención de agua del suelo) así como otras propiedades del mismo, se reducen-al convertir el área de páramo en área agrícola.

Los cambios en el uso del suelo se aplicaron gradualmente; interpolando este cambio a través de los años 2007 - 2050 como se predice en el sector agrícola. Las cuencas específicas en las que se hicieron cambios (> 3800 msnm) se identifican en la Figura 12, en donde se presenta el grado de cobertura de

páramos en cada una de estas cuencas del modelo WEAP para la cuenca de Guayllabamba. El grado de cobertura de páramos en cada una de estas cuencas fue tomado del informe de investigación desarrollado por The Nature Conservancy¹². Los cálculos aproximados de este análisis se utilizaron para valores finales al año 2050 en aumento de la superficie cultivada en porcentaje (o reducción del páramo) como se presenta en la Figura 13. Estos cambios en porcentaje del área de páramos se determinaron en base al mapa de sensibilidad de la zona de paramos. Dicho mapa se presenta en la Figura 14 y cuya fuente es el Sector Agricultura. Para mayor información de este análisis, revisar el Sector Agricultura en la sección titulada: “Exposición y Vulnerabilidad de los Páramos del DMQ al Incremento de Temperaturas”.

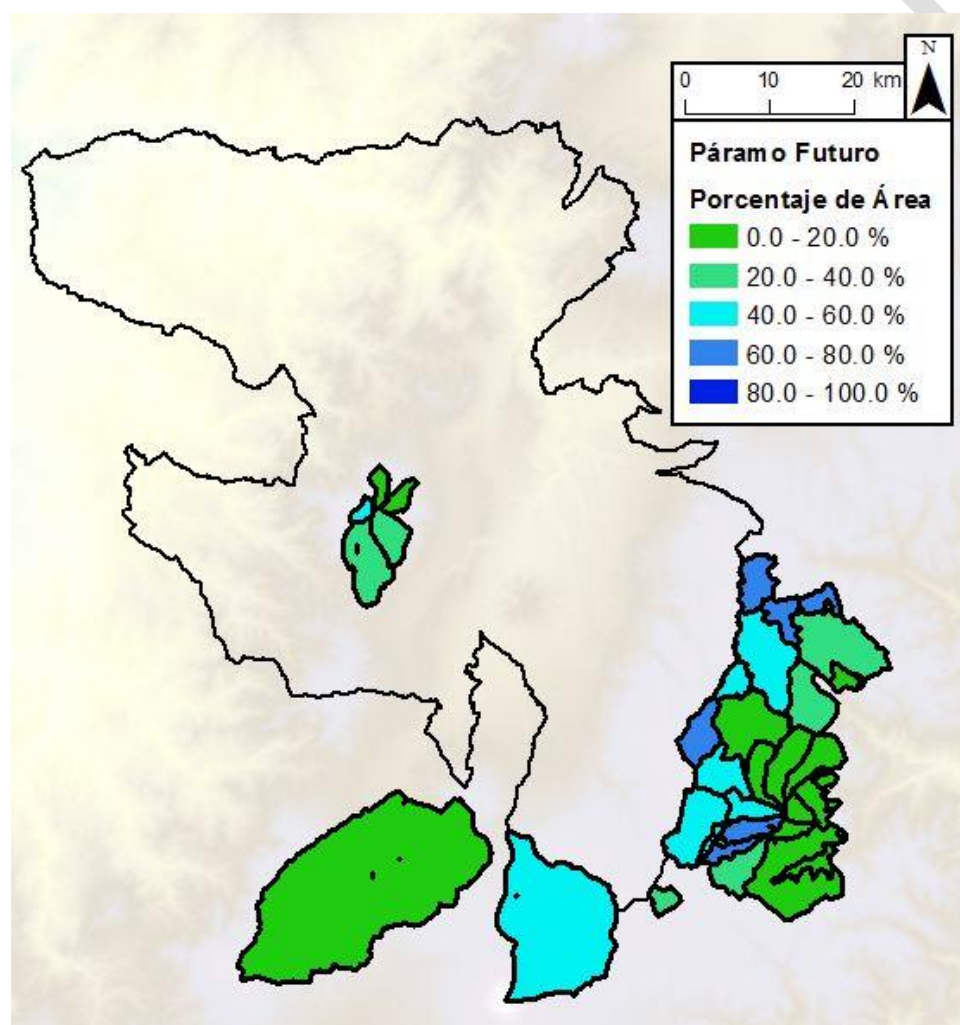


Figura 12 Porcentaje de cobertura de Paramos al año 2050. Datos tomados del Modelo WEAP para la cuenca de Guayllabamba y cuya fuente original es TNC.

¹² The Nature Conservancy. 2007. Verduga, L., V. Zak y M. Guevara. Mapa de ecosistemas y uso del suelo en el área de influencia del FONAG, Quito, TNC-FONAG.

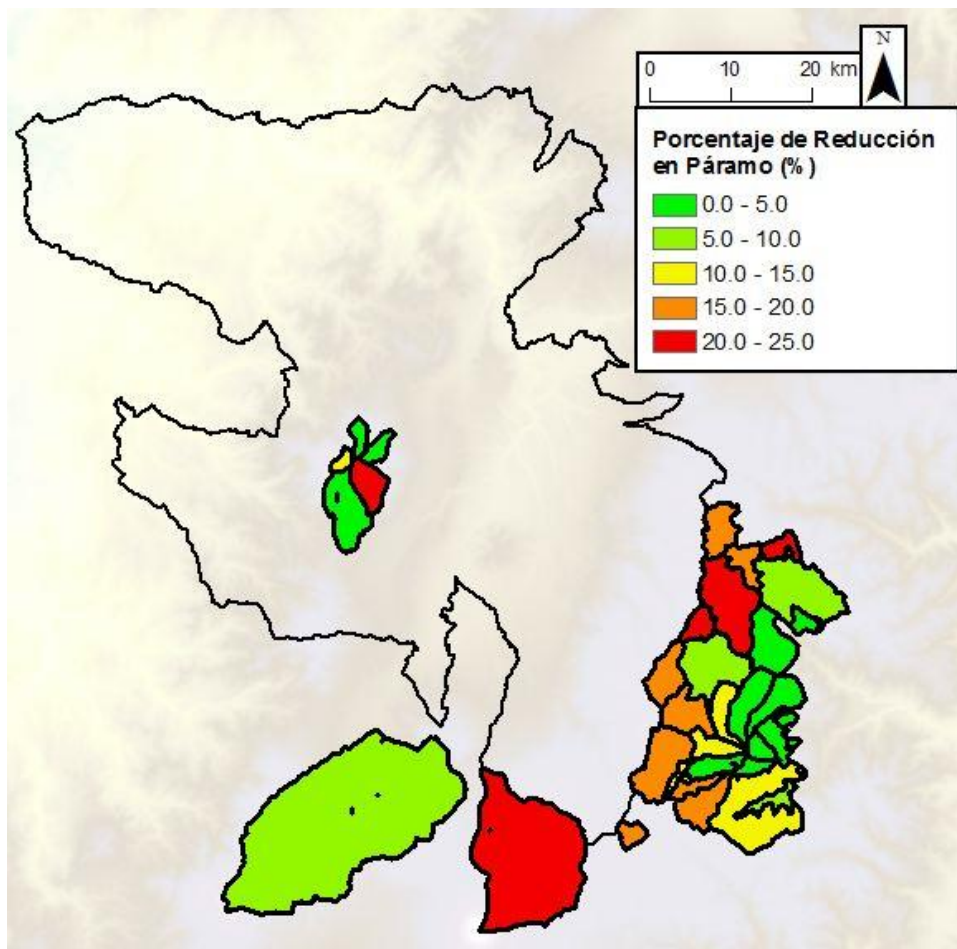


Figura 13 Reducción en % de área de páramos por cuenca de aporte en el DMQ

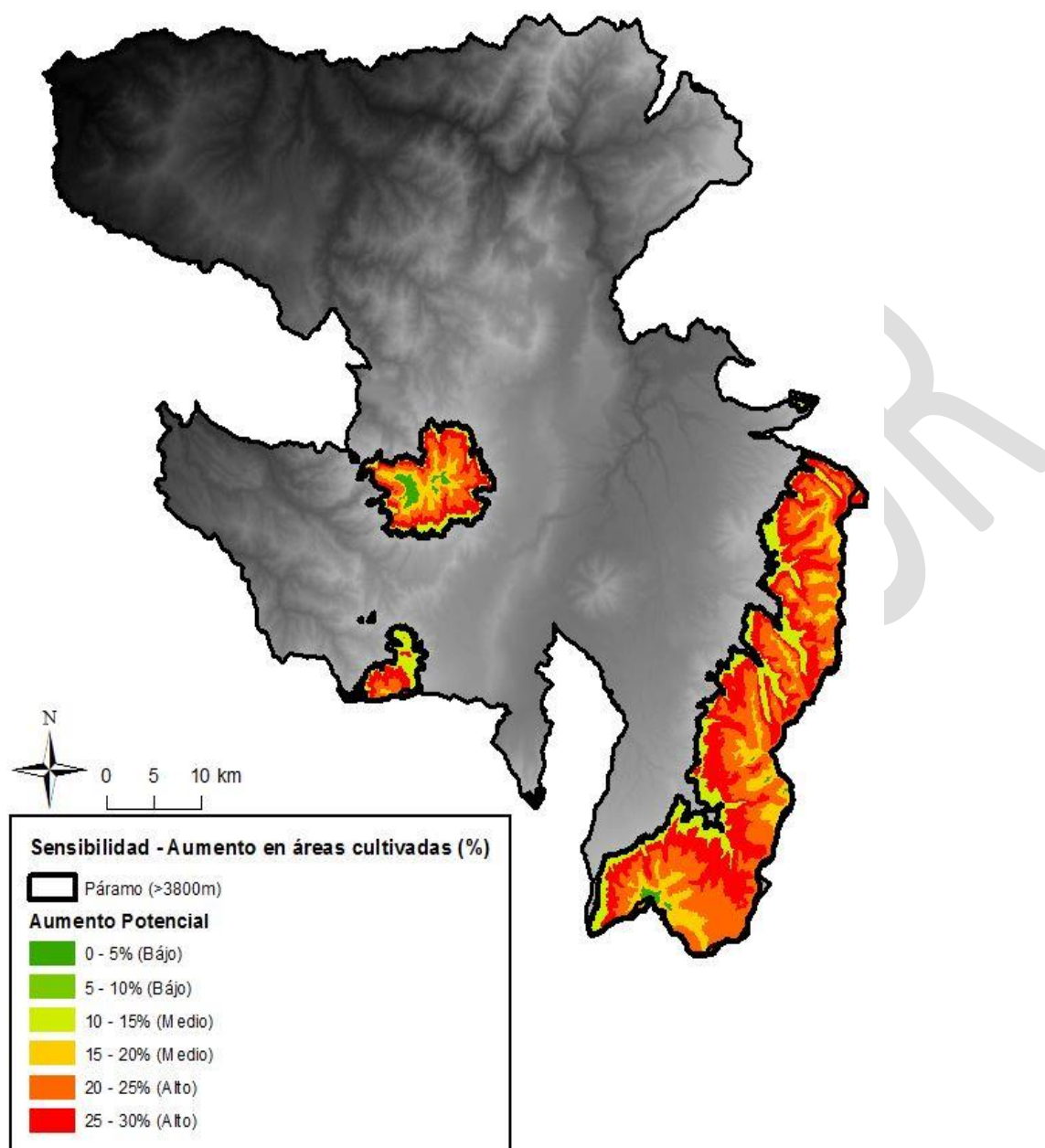


Figura 14 Cambio potencial de las zonas de páramos para el DMQ. Fuente: Sector Agricultura en este estudio.

Componentes de las Áreas de Servicio a Futuro en las Cuencas Aportantes

El crecimiento demográfico en las zonas de servicio (Figura 15) se mantuvo de acuerdo a las tendencias de crecimiento determinadas para las 10 zonas de servicio del sistema de abastecimiento de agua potable, tomando las proyecciones que se encuentran en el Plan Maestro de EMAAP - Q del 2009 al 2050¹³ (Figura 16). En el Plan Maestro de EMAAP-Q se tienen proyecciones de crecimiento de población

¹³ Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el Distrito Metropolitano de Quito. 2009. Preparado para EMAAP-Q y Alcandía Metropolitana de Quito. Hazen and Sawyer. ANEXO 14 Proyección Demográfica Alta: Población por sistema de distribución de agua potable en la zona urbana de Quito por quinquenios 2005-2040.

al año 2040 únicamente, por lo que se realizó una extrapolación al año 2050, para de esta forma completar la serie proyectada a futuro. Seis de estos sitios de demanda se localizan dentro del DMQ, mientras que cuatro se localizan en cantones vecinos, y que son usuarios de agua del sistema de Guayllabamba. El resultado refleja que la población total que se abastece de la Cuenca de Guayllabamba es un poco mayor a la del total del DMQ.

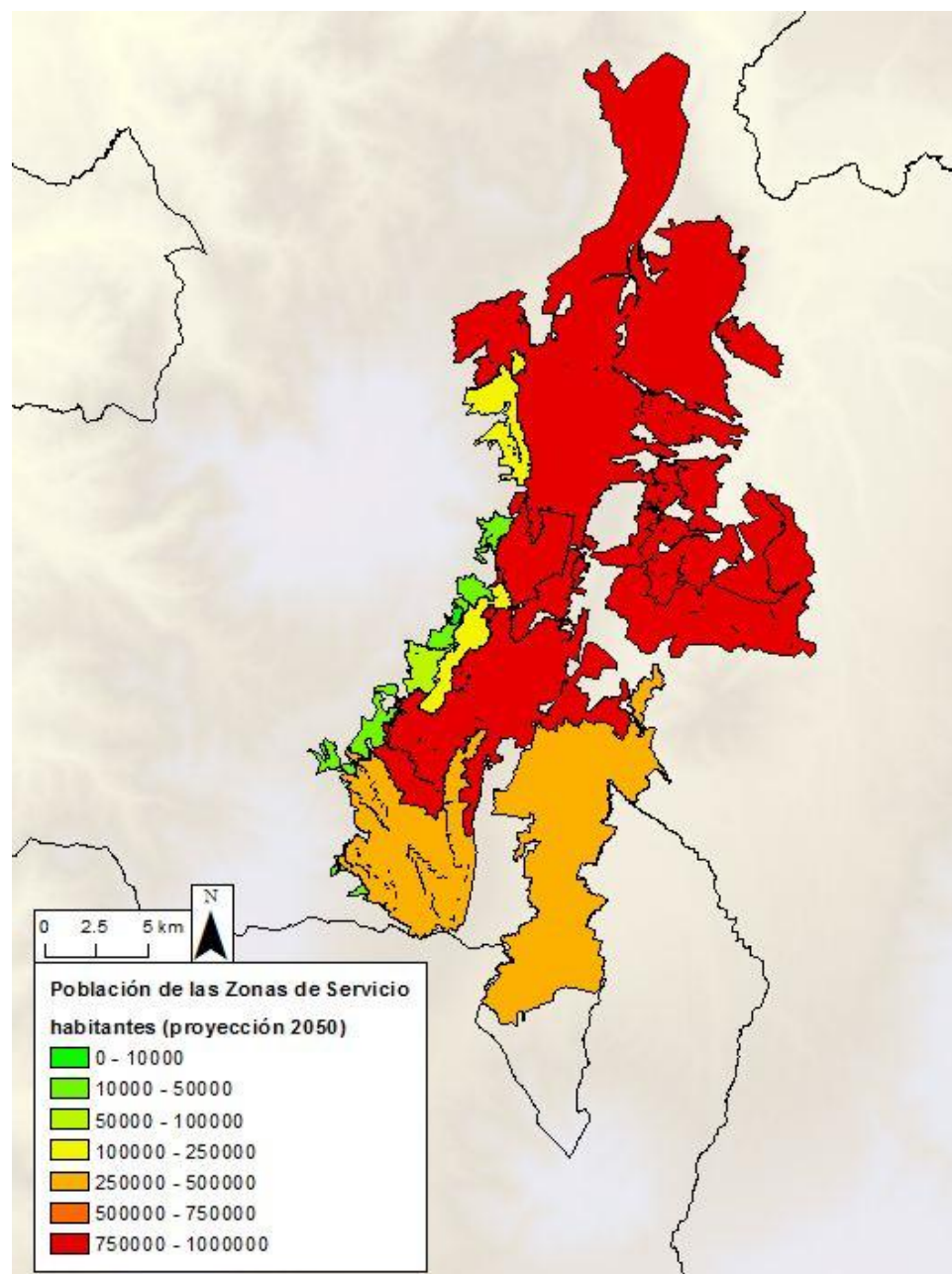


Figura 15 Población futura de las zonas de servicio al año 2050 de acuerdo al Plan Maestro de EMAAP-Q

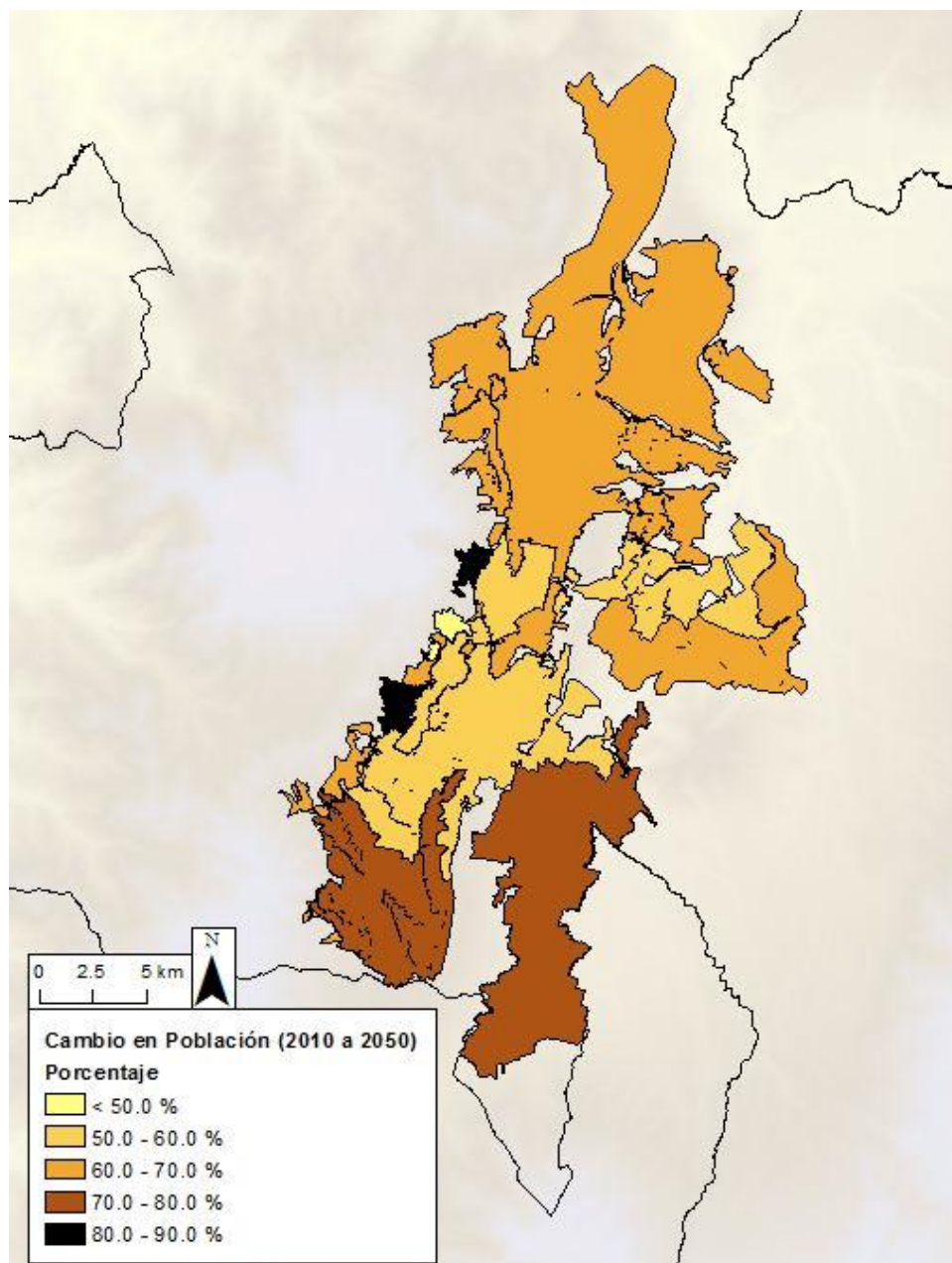


Figura 16 Cambio en % de población por zona de servicio al año 2050 en función de los pronósticos de crecimiento de población del Plan Maestro de EMAAP-Q.

Con el fin de evaluar los posibles cambios futuros en la vulnerabilidad del sector agua caracterizada por la confiabilidad del suministro de agua potable, a partir de los componentes mencionados anteriormente se diseñaron cinco escenarios posibles de vulnerabilidad que afectarían el abastecimiento de las zonas de servicio de agua potable de la EPMAAP al año 2050, los cuales son:

Escenario 1: Considerando solo el crecimiento de la población.

Escenario 2: Considerando el crecimiento de la población, y aumento de la temperatura.

Escenario 3: Considerando el crecimiento de la población, aumento de la temperatura, y períodos prolongados de

sequía.

Escenario 4: Considerando el crecimiento de la población, aumento de la temperatura, y la pérdida del páramo

Escenario 5: Considerando el crecimiento de la población, aumento de la temperatura, períodos prolongados de sequía, y la pérdida de páramo

La información contenida en cada uno de estos escenarios se utilizó para desarrollar nuevas corridas del modelo WEAP. Estos modelos determinan la cobertura de la demanda de agua potable definida en las zonas de servicio del DMQ calculada para un período que cubre hasta el año 2050. Estos resultados se muestran en la Tabla 1 para las décadas 2010-2020, 2020-2030, 2030-2040, y 2040-2050.

Tabla 1 Niveles de cobertura por escenario de modelación por década

| Escenario | CREC POB | TEMP + CREC POB | TEMP + SEQUIA + CREC POB | TEMP + CULT_PARAM + CREC POB | TEMP + SEQUIA + CULT_PARAM + CREC POB |
|--------------------------|-------------------|--------------------|--------------------------------|------------------------------------|--|
| Periodo | % de Cobertura | % de Cobertura | % de Cobertura | % de Cobertura | % de Cobertura |
| 2000 - 2010 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 2010 - 2020 | 100.0 | 100.0 | 99.8 | 100.0 | 99.8 |
| 2020 - 2030 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 2030 - 2040 | 100.0 | 100.0 | 97.2 | 100.0 | 97.1 |
| 2040 - 2050 | 99.5 | 99.0 | 90.0 | 98.9 | 90.0 |
| Peor Escasez | 91.3 | 88.1 | 77.9 | 87.9 | 77.3 |
| Fecha de peor escasez | Ene-2049 | Ene-2049 | Oct-2048 | Ene-2049 | Ene-2048 |

En esta parte se presentan los resultados para el horizonte temporal de la década del 2040-2050 aplicando una serie de umbrales para definir los diferentes niveles de vulnerabilidad, como se define a continuación.

Cobertura de la demanda > 90%; Vulnerabilidad: Baja
80% < cobertura de la Demanda < 90%; vulnerabilidad: Media
Cobertura de la Demanda < 80%; Vulnerabilidad: Alta

En la aplicación del modelo WEAP para la cuenca de Guayllabamba, toda la demanda de agua en las zonas urbanas dentro del DMQ se ha agregado a un único nodo de demanda, que pueda recibir agua de todas las cuencas aportantes gestionadas por el EPMAAP-Q. Las zonas de servicio individuales se conectan principalmente a las cuencas hidrográficas aportantes y al acceso secundario de otras fuentes a través de interconexiones entre el sistema de captación y las plantas de tratamiento. Si bien estos datos no son capturados en la versión actual del modelo WEAP, es posible asumir que las zonas de servicio que experimentan un mayor aumento de la población en relación con las condiciones históricas, serán más vulnerables a las reducciones futuras en términos de la cobertura de la demanda. De igual forma, las áreas de servicio que experimenten un crecimiento menor en demanda, tendrán una menor vulnerabilidad. Este análisis se fundamenta en el supuesto que la capacidad de distribución instalada es intermitente y la capacidad de las plantas de bombeo fue calibrada para representar la distribución y la demanda actual en toda el área de servicio del EMAAP-Q. Con esto podemos definir un conjunto de umbrales de vulnerabilidad relacionados con el crecimiento de la población como se define a continuación.

Cambio de Población 2007-2050 < 60%; Vulnerabilidad: Baja
60% < Cambio de Población 2007-2050 < 70%; Vulnerabilidad: Media
Cambio de Población 2007-2050 > 70%; Vulnerabilidad: Alta

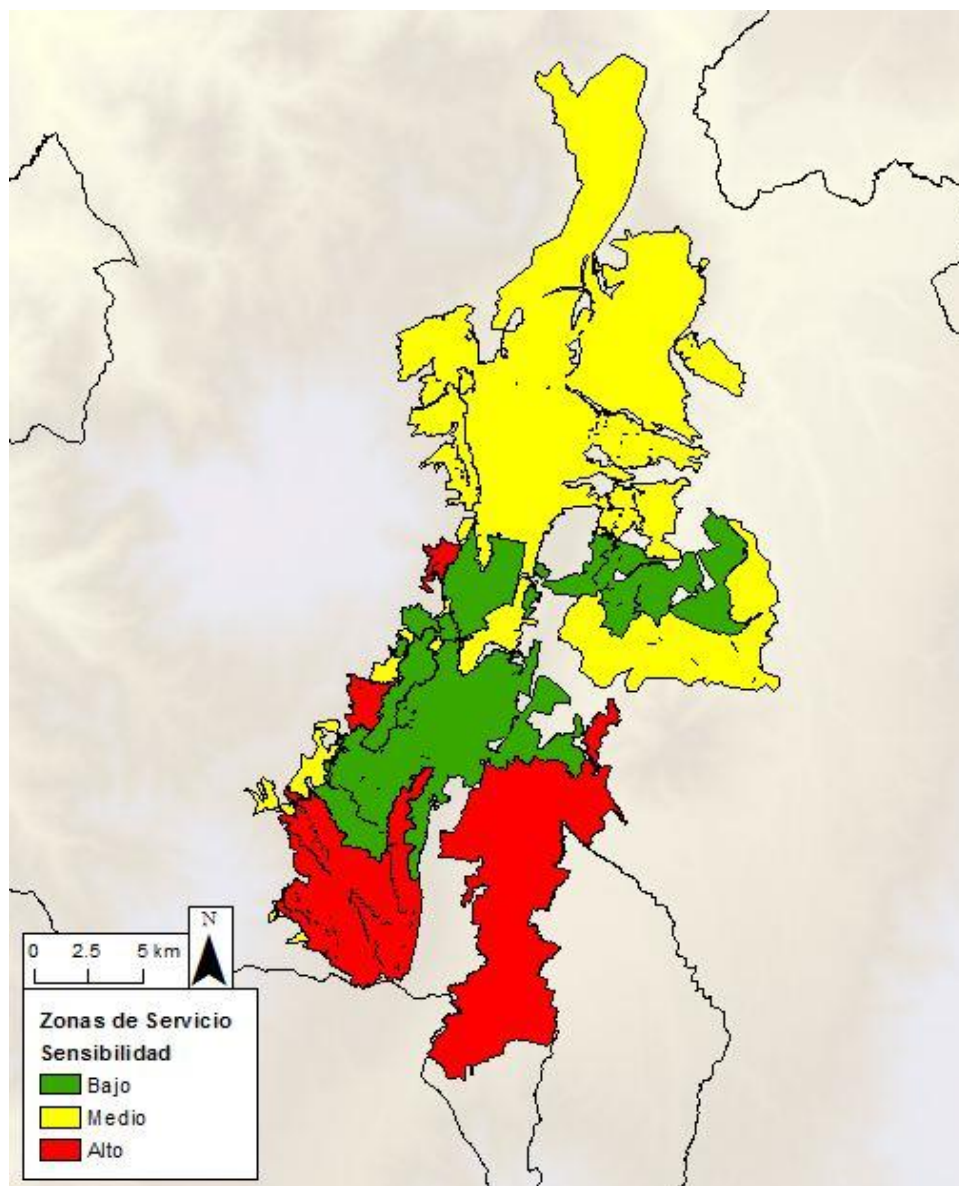


Figura 17 La sensibilidad de las áreas de servicio en base a incremento de población previsto para el año 2050

La aplicación de estos umbrales de crecimiento de población para el período 2040-2050 y para cada uno de los cinco escenarios narrativos, generan los mapas de seguimiento de la vulnerabilidad según la cobertura de la demanda de agua simulada y el cambio en la población a través de las áreas de servicio.

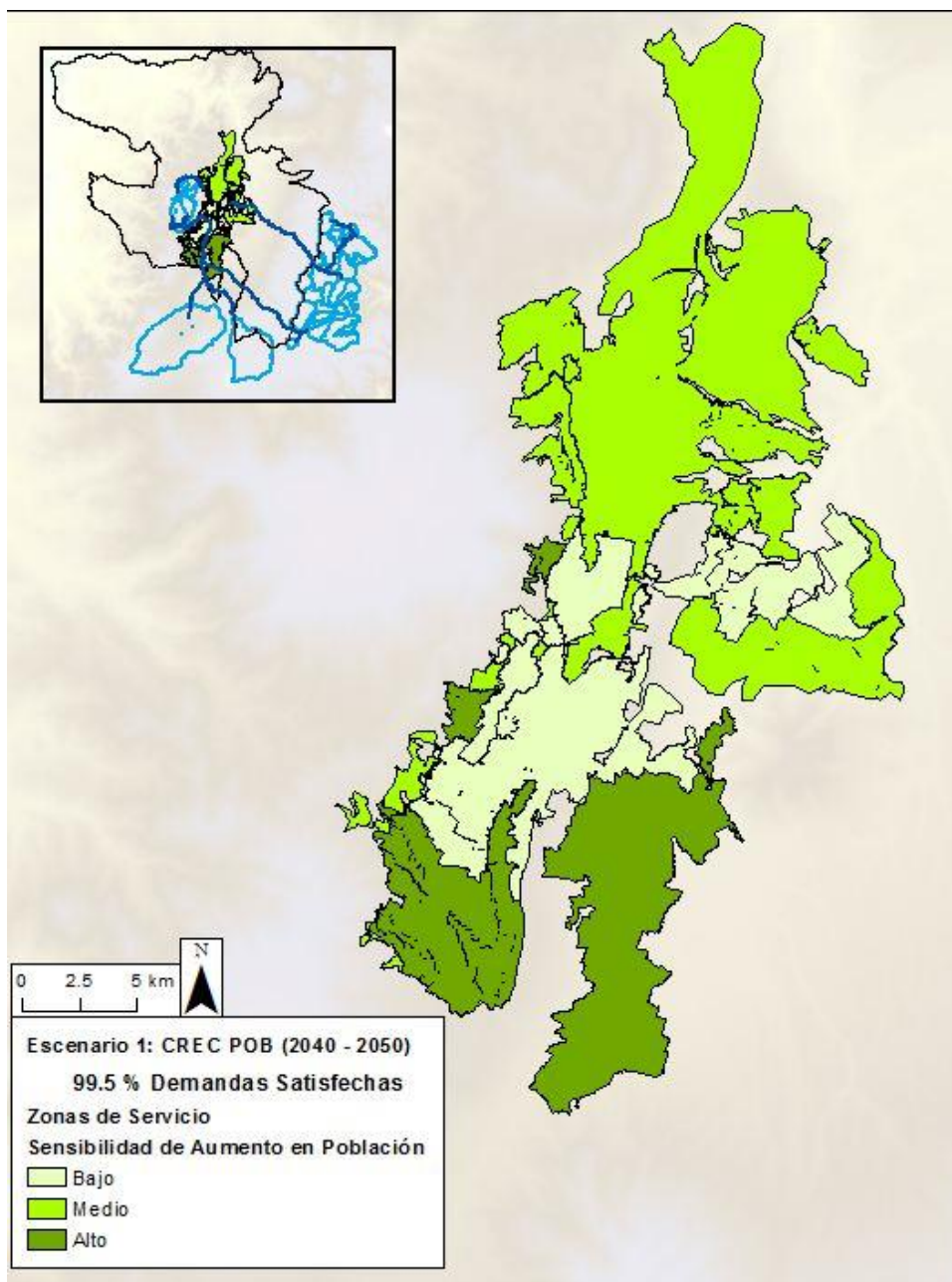


Figura 18 Escenario WEAP 1. Aumento de la población únicamente. Se satisface el 99.5% de la demanda de agua urbana de Quito, los tonos verdes indican diferencia de sensibilidad basado en aumento de la población.

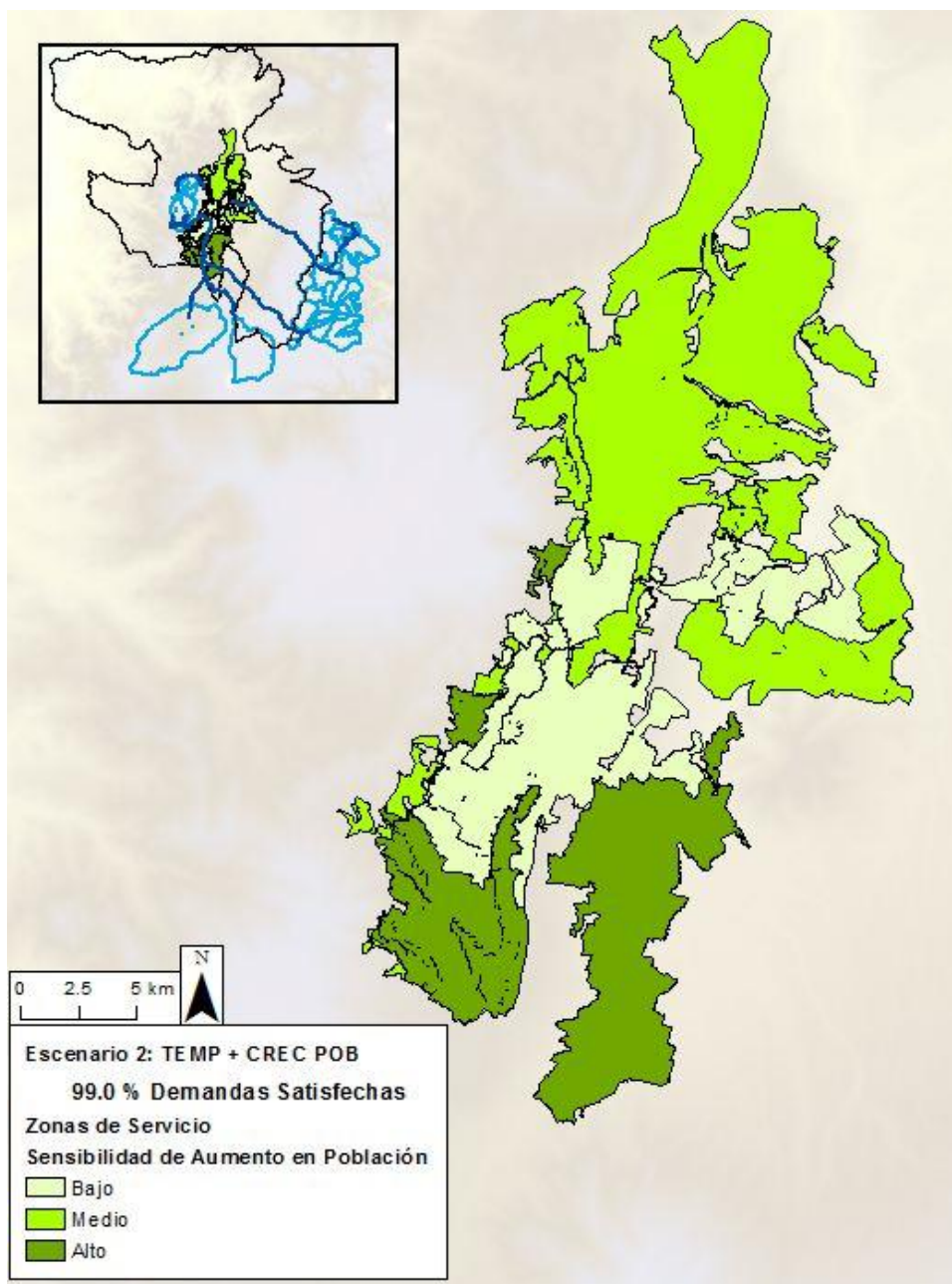


Figura 19 Escenario WEAP 2. Se considera un aumento de la temperatura y población. Se satisface el 99.0% de la demanda de agua urbana de Quito, tonos verdes indican diferencia de sensibilidad basado en aumento de la población.

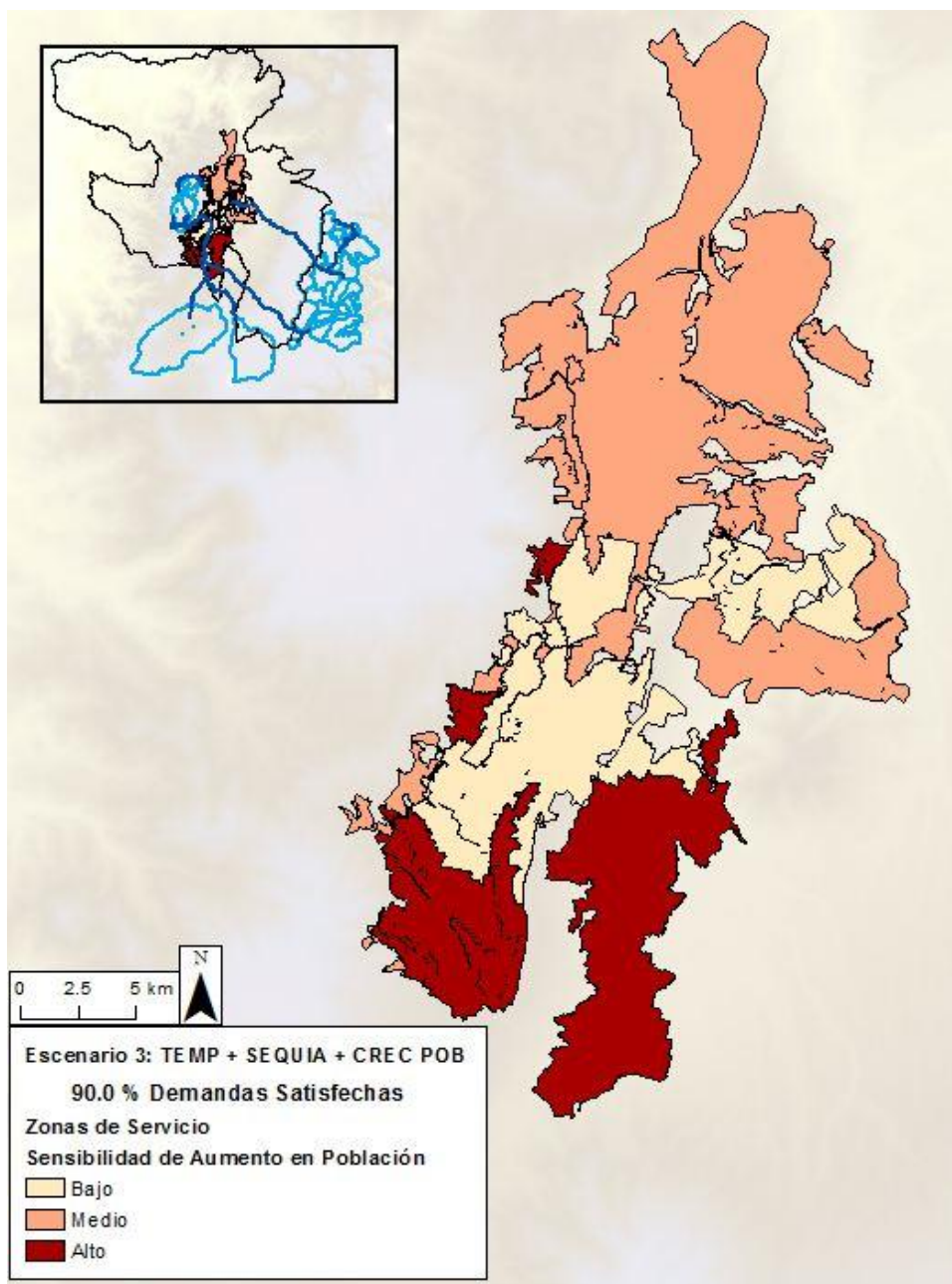


Figura 20 Escenario WEAP 3. Se considera un aumento en la temperatura, población, y la presencia de sequías. Se satisface el 90.0% de la demanda de agua urbana de Quito, tonos rojos indican diferencia de sensibilidad basado en aumento de la población.

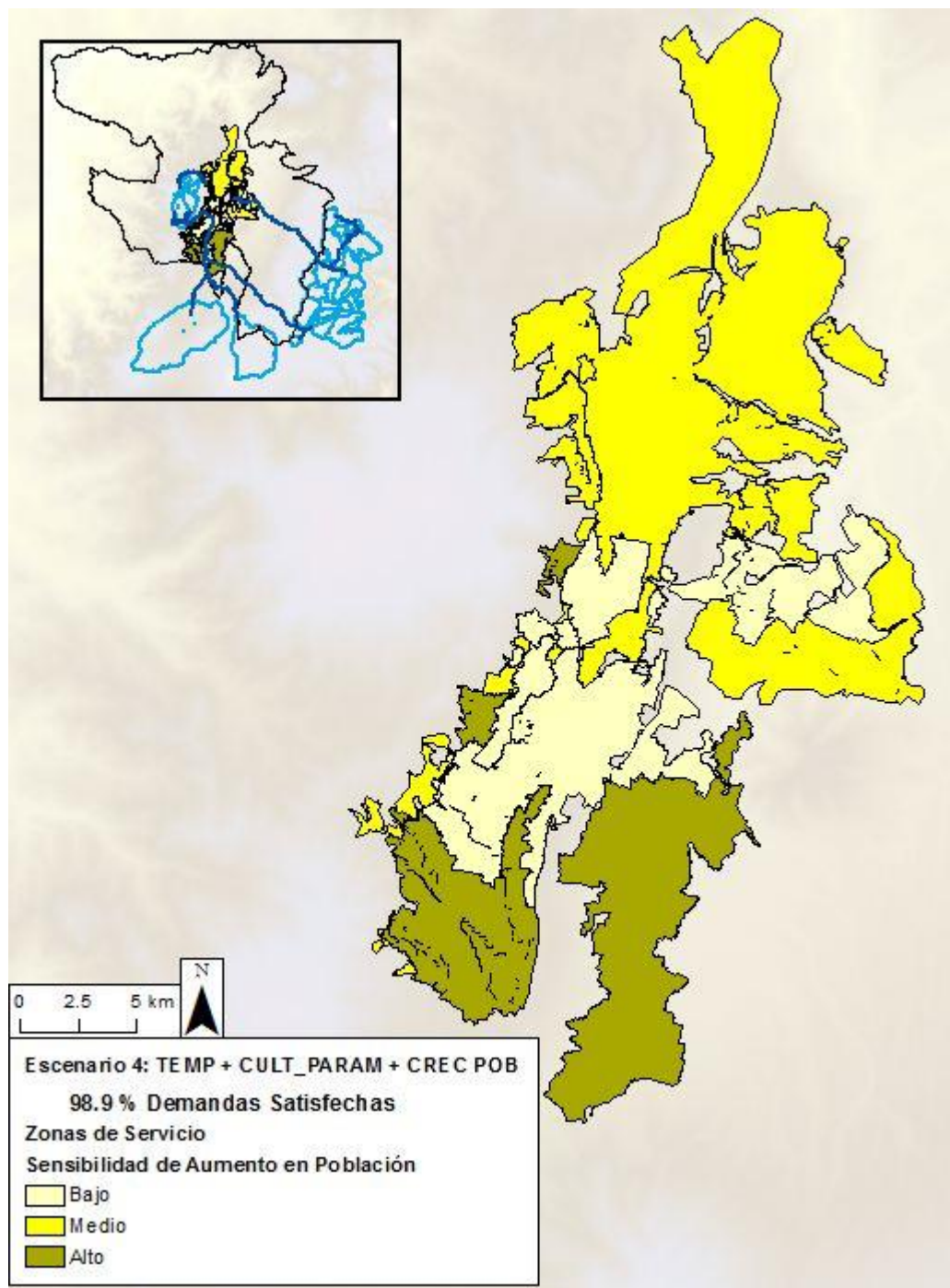


Figura 21 Escenario WEAP 4. Se considera un aumento en la temperatura, población, y el cultivo de los páramos. Se satisface el 98.9% de la demanda de agua urbana de Quito, tonos de amarillo indican diferencia de sensibilidad basado en aumento de la población

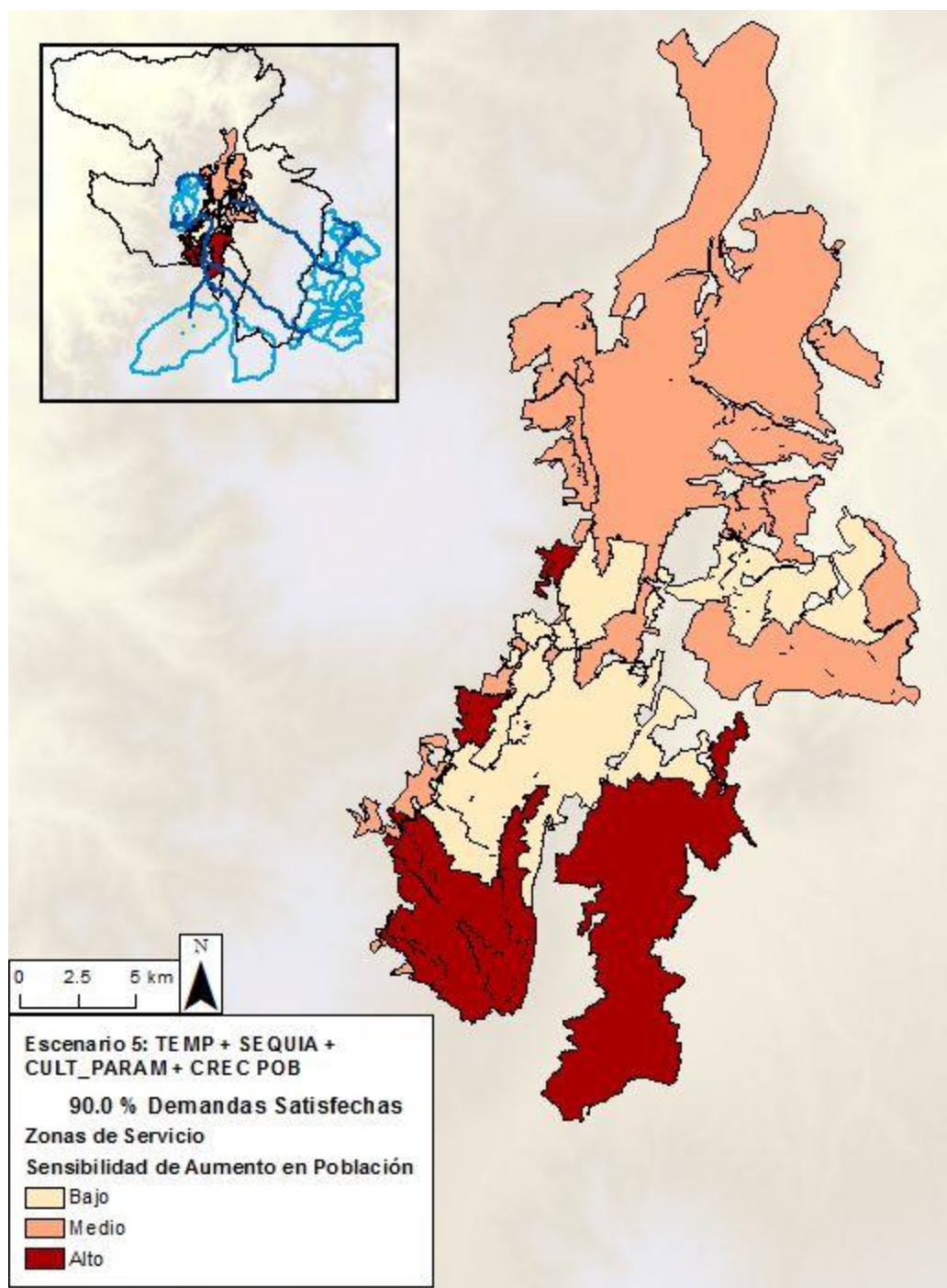


Figura 22 Escenario WEAP 5. Se considera el aumento de la temperatura, población, y la presencia de sequías y el cultivo de los páramos. Se satisface el 90.0% de la demanda de agua urbana de Quito, tonos rojos indican diferencia de sensibilidad basado en aumento de la población.

Conclusiones Sector Agua

El presente estudio determina la vulnerabilidad actual y proyectada del suministro de agua potable frente a escenarios potenciales de cambio climático para el Distrito Metropolitano de Quito.

El estudio identifica los efectos potenciales de la variabilidad climática y cambio potencial en el uso y ocupación del suelo en páramos, así como la cobertura de las demandas de agua potable en el DMQ.

En el estudio se determinó que la cobertura de agua potable del DMQ proyectada al año 2050 será afectada, con valores de cobertura de un 90% en los escenarios más extremos. Este 90% de cobertura toma en cuenta únicamente los factores considerados en los escenarios 1 a 5. Es de importancia señalar que el promedio general de la cobertura de las demandas es alto, más sin embargo, el modelo muestra limitaciones en cuanto a establecer el aporte significativo de otras fuentes de suministro como las aguas subterráneas.

Es importante identificar que los valores de cobertura estimados del suministro de agua potable (Tabla 1) que se determinan a lo largo de los diferentes escenarios, únicamente son el resultados de la combinación de crecimiento de la población, incremento en temperaturas, periodos de sequía más intensos y decremento del área de paramos como se detalla en cada uno de los escenarios anteriores. Este estudio no considera otros tipos de efectos como pueden ser: (i) crecimiento del producto interno bruto per-cápita, (ii) necesidades de expansión del sistema de almacenamiento, conducción, tratamiento, y la infraestructura de distribución que el EMAAP-Q requiere para la conexión de suministros de agua con las fuentes desde las cuencas aportantes, (iii) otras fuentes de suministro como sistemas más pequeños localizados en el occidente del volcán Pichincha y ojos de agua locales en sectores rurales (iv) incrementos en los consumos diarios de agua por persona, (v) cambios en consumo de agua por zonas de servicio, etc.

Con base en lo anterior, se confirmó que la cobertura de la demanda de agua potable en el DMQ para la década 2000-2010 se cubrió en un 100%. Estos resultados coinciden con los obtenidos en el Plan Maestro de EMAAP-Q. Considerando la última década de simulación, 2040-2050, se puede especular que en un futuro, habrá problemas en el abastecimiento de agua potable en el DMQ. Esto bajo los supuestos considerados en los Escenarios 1 a 5 de este estudio. Constituyendo la EPMAAP-Q, una empresa que debe garantizar una cobertura total de las demandas a través del tiempo, podemos identificar que existirían meses en los cuales la satisfacción de dichas demandas puede ser muy desfavorable como es el caso de los Escenarios 3 y 5. En estos escenarios existen meses (Enero y Octubre del 2048) en los cuales la cobertura de la demanda puede ser del orden de un 77%.

Más aún, si se llegará a considerar otros componentes que en este estudio no se consideraron, el nivel de cobertura sería mucho más desfavorable para la EPMAAP-Q y los niveles de cobertura de la demanda serían aún menores; denotando la necesidad de implementar medidas de adaptación como se menciona en el Plan Maestro de EMAAP-Q.

Con esto podemos sugerir que una segunda etapa de estudio es requerida para el DMQ y que beneficiaría directamente al EMAAP-Q, donde se implementarían todas las diferentes incertidumbres no consideradas en este estudio. Un listado potencial de estas incertidumbres a considerar son las siguientes:

1. Necesidades de expansión del sistema de almacenamiento, conducción, tratamiento, y la infraestructura de distribución que el EMAAP-Q requiere para la conexión de suministros de agua con las fuentes desde las cuencas aportantes,
2. Considerar otras fuentes de suministro como sistemas más pequeños localizados en el occidente del volcán Pichincha y ojos de agua locales en sectores rurales
3. Incrementos en los consumos diarios de agua por persona,
4. Cambios en consumo de agua por zonas de servicio,
5. Crecimiento del producto interno bruto per-cápita, etc.

Más aún, se recomienda que esta segunda etapa de estudio en colaboración con EMAAP-Q pueden estar fundamentada en el contexto del enfoque de SEI de la Toma de Decisiones Robustas bajo de escenarios de incertidumbre para sistemas hídricos, en el cual SEI tiene una amplia experiencia probada en diferentes partes del mundo.